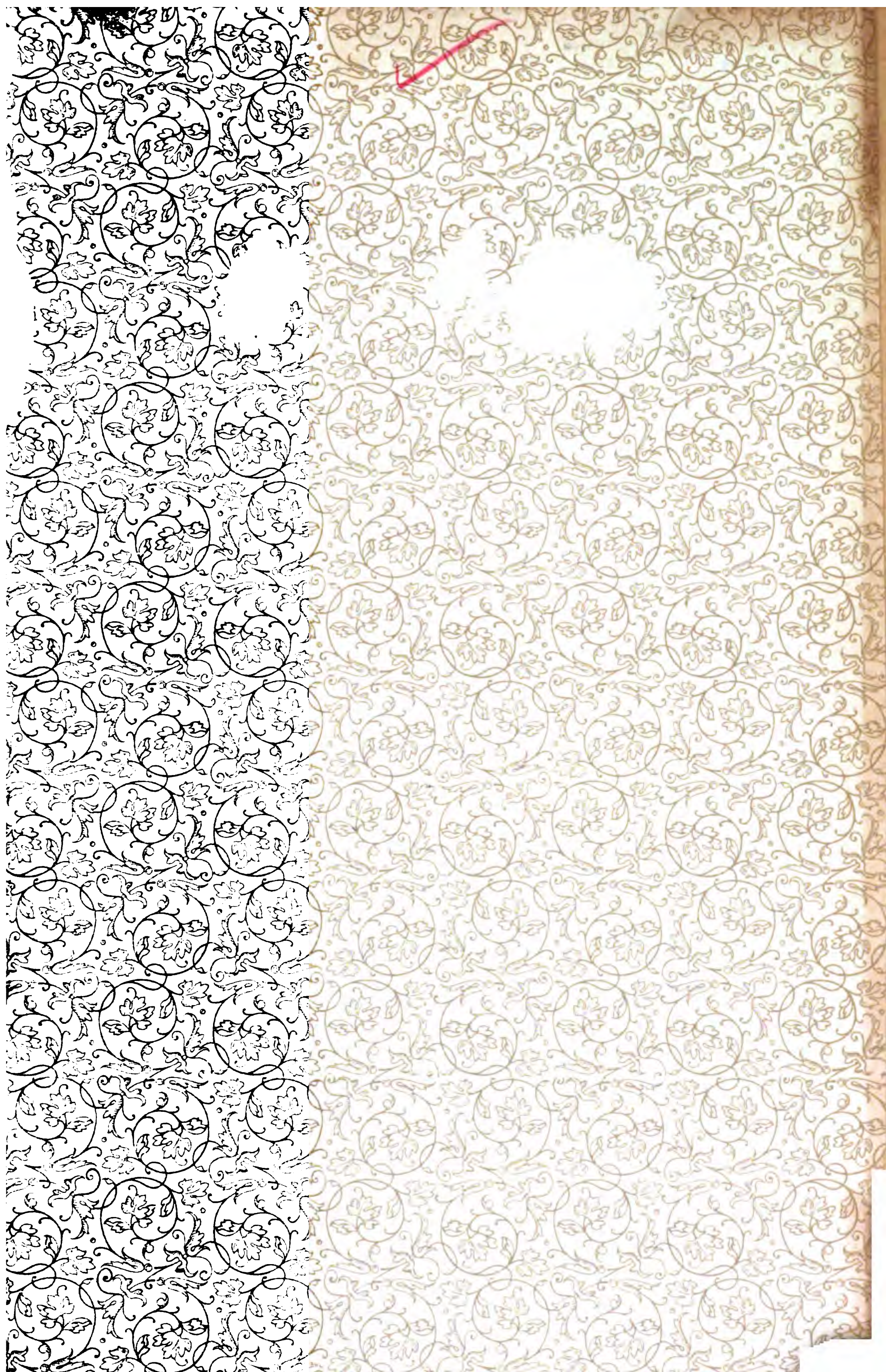


LA

TRACTION ÉLECTRIQUE

LA

TRACTION ÉLECTRIQUE

TRAMWAYS

LOCOMOTIVES ET MÉTROPOLITAINS ÉLECTRIQUES

TRACTION DANS LES MINES, SUR EAU ET SUR ROUTE

ÉTUDES ET PROJETS — MATÉRIEL

PRIX DE PREMIER ÉTABLISSEMENT

EXPLOITATION

PRIX DE REVIENT ET RENDEMENT FINANCIER

PAR

PAUL DUPUY

INGÉNIEUR DE LA SOCIÉTÉ DE TRACTION ÉLECTRIQUE



PARIS

LIBRAIRIE DE SCIENCES GÉNÉRALES

H. BÉCUS, DIRECTEUR

53, RUE MONSIEUR-LE-PRINCE, 53

—

1897

A MONSIEUR

JEAN-JACQUES HEILMANN

INVENTEUR DE LA " FUSÉE ÉLECTRIQUE "

Son élève respectueux dédie ce livre, en souvenir des années de travail passées ensemble

PAUL DUPUY

TRACTION ÉLECTRIQUE

PREMIÈRE PARTIE

CHAPITRE I

INTRODUCTION

Considérations générales sur la traction mécanique et électrique. — Développement de la traction électrique dans les différents pays. — Voitures automobiles et voitures automotrices. — Classification des systèmes de traction électrique. — Principe des tramways électriques: tramways automobiles et tramways automoteurs.

Considérations sur la traction mécanique et électrique. — La traction électrique est l'une des formes que prend la traction *mécanique* qui tend peu à peu à se substituer à la traction animale dans l'industrie des transports en commun dans les grands centres. En effet, les conditions nouvelles de l'industrie et du commerce demandent des moyens rapides et économiques pour se déplacer dans les grandes villes ; de plus, l'encombrement de ces villes est arrivé à un point tel, que la circulation, dans certaines rues, devient dangereuse. La traction mécanique, et en particulier la traction électrique, résolvent facilement le problème des transports en commun ; la traction électrique, en particulier, a *seule* l'avantage d'avoir une élasticité de trafic telle que l'on peut augmenter, presque à volonté, le nombre de voitures et dégager, à certains moments, tous les points encombrés par les voyageurs qui attendent : cet avantage, joint à celui de l'économie d'exploitation de ce système, a fait que la traction électrique a pris un rapide développement qui s'est manifesté, tout d'abord, dans les pays où le problème à résoudre se présentait d'une façon toute directe.

Après quelques timides essais en Europe, c'est en Amérique, aux Etats-Unis, que la traction électrique a pris un complet développement : les Américains, en gens pressés et pratiques, ont immédiatement conçu tous les avantages qu'ils pourraient retirer d'un système de traction aussi industriel et aussi économique.

La meilleure preuve que l'on puisse en donner, c'est de reproduire les statistiques publiées en Amérique en 1893, sur la traction en général, et qui répartissent ainsi le nombre de voitures et de kilomètres, avec les différents modes de traction.

	A. — Traction électrique	
17.243	voitures parcourant une longueur totale de lignes égale à............	12.015 kil.
	B. — Traction chevaline	
16.845	voitures parcourant une longueur totale de lignes égale à............	5.628 —
	C. — Traction par cables	
4.805	voitures parcourant une longueur totale de lignes égale à............	1.057 —
	D. — Traction a vapeur	
616	voitures parcourant une longueur totale de lignes égale à............	911 —
Total. 39.509	voitures.	19.611 kilom.

Comme on le voit, le nombre de kilomètres exploités, à cette date, était sensiblement le même dans les deux modes de traction. Depuis l'année 1893, ces chiffres ont certainement varié, mais nul doute que la traction électrique n'ait gagné du terrain et que ce nouveau mode de traction, pratiqué depuis seulement une dizaine d'années, n'ait remplacé sur un grand nombre de kilomètres la traction animale, vieille de plus de trente ans. Pour comparer l'importance de la traction électrique en Amérique avec ce qui est *actuellement* fait en Europe, nous donnons les tableaux suivants, qui indiquent, pour chaque pays, la longueur totale des lignes, la puissance installée en kilowatts et le nombre de voitures en circulation [1].

[1] *Industrie Electrique*, n° 101, année 1896.

COMPARAISON DES LIGNES EN SERVICE AU 1er JANVIER DES ANNÉES 1895 ET 1896, EN EUROPE

NOMS DES PAYS	LONGUEUR TOTALE DES LIGNES exprimée en kilomètres		PUISSANCE TOTALE INSTALLÉE exprimée en kilowatts		NOMBRE TOTAL de voitures automotrices en service		LIGNES en CONSTRUCTION longueur en kilomètre
	1895	1896	1895	1896	1895	1896	
Allemagne	366,17	406,4	5.264	7.194	632	857	94,6
Angleterre	68,80	94,3	3.443	4.243	125	143	34,2
Autriche-Hongrie	44,90	71,0	1.639	1.949	129	157	3,75
Belgique	21,70	25,0	1.130	1.120	48	48	»
Bosnie	»	5,6	»	73	»	6	5,60
Espagne	14,00	29,0	210	600	12	26	»
France	96,26	132,0	3.610	4.490	152	225	46,00
Hollande	»	3,2	»	320	»	14	»
Islande	»	13,0	»	440	»	25	»
Italie	18,85	39,7	870	1.890	33	84	23,8
Suède et Norvège	6,50	7,5	146	225	11	15	»
Portugal	»	2,8	»	110	»	3	12,8
Roumanie	5,43	5,5	140	140	15	15	»
Russie	10,00	10,0	540	540	32	32	»
Serbie	10,00	10,0	150	200	7	11	»
Suisse	37,40	47,0	1.008	559	40	86	2,74
Totaux	700,01	902,00	18.150	25.095	1.236	1.747	212,59

DÉNOMBREMENT DES LIGNES EN SERVICE ET DIFFÉRENTS SYSTÈMES EMPLOYÉS EN EUROPE
COMPARAISON POUR LES ANNÉES 1895 et 1896 (AU 1er JANVIER)

NOMS DES PAYS	SYSTÈME EMPLOYÉ								TOTAL	
	CONDUCTEUR AÉRIEN		CONDUCTEUR SOUTERRAIN		RAIL CENTRAL		ACCUMULATEURS			
	1895	1896	1895	1896	1895	1896	1895	1896	1895	1896
Allemagne	21	35	1	1	»	»	»	»	22	36
Angleterre	4	7	1	1	7	8	1	1	13	17
Autriche-Hongrie	3	6	1	1	»	»	2	»	4	9
Belgique	3	3	»	»	»	»	»	»	3	3
Bosnie	»	1	»	»	1	»	»	»	»	1
Espagne	1	2	»	»	1	»	4	3	1	2
France	7	11	»	»	»	1	1	»	11	16
Hollande	»	»	»	»	»	»	»	»	4	1
Irlande	»	1	»	»	»	»	»	»	»	1
Italie	4	7	»	»	»	»	»	»	»	7
Suède et Norvège	1	1	»	»	»	»	»	»	1	1
Portugal	»	1	»	»	»	»	»	»	»	1
Roumanie	1	1	»	»	»	»	»	»	1	1
Russie	»	2	»	»	»	»	»	»	1	2
Serbie	1	1	»	»	»	»	»	»	1	1
Suisse	8	12	»	»	»	»	»	»	8	»
TOTAUX	35	91	3	3	8	9	8	4	70	111
DIFFÉRENCES	+ 56		»		+ 1		— 4		+ 41	

Il résulte de ces tableaux que les augmentations pendant l'année 1895 ont été :

Longueur des lignes, exprimée en kilomètres	202
Puissance installée, exprimée en kilowatts.........	6.945
Nombre de voitures automobiles en service.........	511

Par ordre d'importance, au point de vue de la puissance installée, les différents pays d'Europe se classent ainsi :

1° Allemagne ;
2° France ;
3° Angleterre ;
4° Autriche-Hongrie ;
5° Italie ;
6° Belgique ;
7° Espagne ;
8° Suisse ;
9° Russie ;
10° Irlande ;
11° Hollande ;
12° Suède et Norvège ;
13° Serbie ;
14° Roumanie ;
15° Portugal ;
16° Bosnie.

Comme nous l'avons dit plus haut, il y avait en Amérique, aux Etats-Unis seulement, à la fin de l'année 1893 : 12.029 kilomètres de voie et 17.233 voitures en service.

Si l'on compare les chiffres résumés dans les tableaux précédents, qui indiquent la longueur des lignes et le nombre de voitures en exploitation, avec ceux donnés par la statistique américaine, on voit que tous les pays d'Europe *réunis* donnent, en 1896, les rapports suivants :

$$\frac{902}{12.029} = \frac{1}{13}$$

pour les kilomètres de voie en service, et

$$\frac{1.747}{17.233} = \frac{1}{10}$$

pour les voitures en service.

Un point sur lequel il est très important d'appeler l'attention et qui a été vérifié pratiquement, c'est que la traction

mécanique, et en particulier la traction électrique, a augmenté, sur une ligne donnée, le trafic des voyageurs : il en est résulté une recette proportionnelle plus grande et des bénéfices qui augmentent d'autant plus rapidement que les frais généraux se répartissent sur un plus grand nombre de voitures-kilomètres.

En Amérique, ce fait a été constaté sur toutes les lignes transformées, et, si l'on cherche à établir dans quelle proportion cette augmentation s'est produite, on arrive à trouver, sur certaines lignes, le rapport moyen de 50, 70 et même 100 pour cent.

C'est vraiment cette augmentation de trafic qui démontre, pratiquement, combien le public trouve son avantage, à divers titres, à se servir des lignes à traction électrique. Sans être trop optimiste, l'on peut conclure que, d'ici quelques dizaines d'années, la traction mécanique et, en particulier, la traction électrique, sera établie sur toutes les lignes d'un trafic un peu important et, à cette époque, la traction animale aura pour ainsi dire disparu.

L'application de la traction électrique aux chemins de fer demandera certainement plus de temps encore, car le problème est autrement plus difficile à résoudre. En effet, tandis que pour les tramways électriques on opère à coup sûr, l'on en est encore à la période d'essais pour les chemins de fer, et encore ceux qui se font, sont-ils de peu d'importance et sont-ils tenus presque secrets.

Nous examinerons plus loin les conditions qui différencient les tramways des chemins de fer électriques, et nous verrons combien les conditions de construction et d'exploitation sont différentes.

Voitures automobiles et voitures automotrices. — En considérant les différents systèmes de voitures employées pour faire de la traction électrique, on voit qu'elles peuvent se classer en deux catégories principales :

1° Les voitures qui prennent l'énergie nécessaire à leur propulsion sur une ligne extérieure : nous les appellerons

des *voitures automobiles*. Exemple : les tramways à fil aérien ou souterrain ;

2° Les voitures qui transportent avec elles l'énergie nécessaire à leur propulsion : nous les appellerons des *voitures automotrices*. Exemple : les voitures à accumulateurs.

Dans cette classe se rangent naturellement les voitures sur lesquelles on produit l'énergie nécessaire à leur propulsion. Exemple : les voitures mixtes, système J.-J. Heilmann.

Si l'on ne considère pas seulement la traction électrique, presque toutes les voitures à traction mécanique se classent dans cette dernière catégorie. Exemple : tramways à air comprimé ; tramways système Serpollet ; voitures routières de tous systèmes : à vapeur, à pétrole, à accumulateurs, celles employant le système J.-J. Heilmann, etc., etc.

Nous ferons remarquer, en passant, que la traction électrique peut également s'appliquer aussi bien à des voitures *automobiles* qu'à des voitures *automotrices :* ce qui n'existe pas dans les autres systèmes de *traction mécanique ;* il en résulte que, selon le cas considéré et les conditions à remplir, l'un ou l'autre système de traction électrique pourra être avantageusement choisi. Nous essayerons de fixer, plus loin, quelles sont les raisons qui doivent guider dans le choix de l'un ou l'autre système.

Classification des systèmes de traction électrique. — La distinction, que nous venons d'établir entre les voitures automobiles et les voitures automotrices, nous permet de classer facilement les tramways électriques, et cela, de la manière suivante :

1° *Tramways électriques automobiles :*

A. — Tramways à trolley, ou à fil de travail aérien ;

B. — Tramways à conducteur, ou à fil de travail souterrain ;

C. — Locomotives électriques pour chemins de fer, à conducteur.

2° *Tramways électriques automoteurs :*

A. — Tramways à accumulateurs ;

B. — Voitures routières et tramways du système mixte ;

C. — Locomotives électriques et voitures automobiles pour chemins de fer, du genre système J.-J. Heilmann.

Cette classification des systèmes de traction pourrait s'appliquer à la traction électrique sur eau, où l'on rencontre également des automobiles et des automoteurs: nous examinerons, dans un chapitre spécial, les applications qui ont été faites dans cet ordre d'idées.

Principe des tramways électriques. — Selon que le tramway électrique sera automobile ou automoteur, le principe employé sera différent:

A. — ***Tramways automobiles.*** — Le courant électrique, engendré par une station centrale génératrice, est envoyé sur la ligne par un fil; il est recueilli par la voiture, au moyen d'un appareil spécial appelé *trolley* et envoyé ensuite aux moteurs électriques qui commandent les essieux moteurs. Le courant revient ordinairement à la station centrale par le circuit métallique constituant la voie de roulement, l'une des bornes de la génératrice électrique étant à ce circuit. Le schéma de la figure 1 indique cette disposition générale.

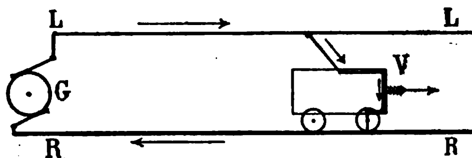


Fig. 1.

Pour tout tramway de ce système, on distingue donc quatre parties principales: 1° la station génératrice du courant G; — 2° la ligne LL qui transporte cette énergie jusqu'à la voiture en mouvement; — 3° les voitures V qui, au moyen du trolley, recueillent le courant et, par les moteurs qu'elles portent, utilisent ce courant pour leur propulsion; — 4° une voie ferrée RR constituant le circuit de retour du courant électrique à la station centrale.

B. — ***Tramways automoteurs.*** — Dans ce système, on retrouve trois des éléments mentionnés plus haut: la sta-

tion génératrice et les voitures qui jouent le même rôle que précédemment, sauf que le courant produit à la station centrale est emmagasiné dans des batteries d'accumulateurs portées sur les voitures ; la voie ferrée ne joue plus le rôle de conducteur de retour, c'est simplement la voie de roulement indispensable à tout tramway.

Nous allons examiner en détail, dans les différents chapitres qui suivent, les méthodes employées pour étudier, construire et exploiter ces deux systèmes de tramways électriques.

CHAPITRE II

ÉTUDE THÉORIQUE

Étude des divers coefficients : Définition de l'effort de traction et de la puissance de traction. — Formules se rapportant au calcul de l'effort de traction. — Cas pratique : formules. — Influence des courbes : exemples. — Formules pratiques. — Effort supplémentaire dû au démarrage : exemples. — Adhérence. — Coefficient de traction. — Calcul de l'effort de traction et de la puissance dans le cas général d'un profil quelconque donné. — Effort moyen obtenu sur différentes lignes de tramways : exemples pratiques. — Calcul de la puissance nécessaire à la station centrale pour une ligne d'un profil et d'un trafic donnés : Puissance des moteurs sur les voitures. — Variations de la puissance de traction avec la vitesse. — Energie supplémentaire absorbée pour gravir les rampes et pour la mise en vitesse des voitures. — Economie possible d'énergie par la conduite rationnelle de la voiture. — Conditions de fonctionnement pratique de quelques lignes de tramways. — Renseignements nécessaires pour établir l'avant-projet et l'étude d'une ligne de tramway à traction électrique.

Quelle que soit la catégorie à laquelle appartienne tel ou tel système de traction, tous les véhicules qui doivent se déplacer sur une voie ferrée sont soumis à remplir certaines conditions imposées par des considérations d'ordres divers. Pour calculer l'effort horizontal qu'il faudra appliquer à la voiture, nous devrons étudier le profil de la voie, les coefficients de traction, l'effort moyen, les conditions d'adhérence, etc.

Nous allons examiner, dans ce chapitre, les différents coefficients qui interviennent, et dont la détermination est le point de départ de toute étude de traction en général : nous insisterons spécialement sur ceux qui acquièrent plus d'importance dans le cas de la traction électrique.

Effort de traction et puissance de traction. — L'effort de traction représente la composante horizontale OH,

nécessaire pour animer un véhicule et lui conserver un mouvement uniformément accéléré (*fig.* 2).

Ce coefficient est toujours exprimé en kilogrammes, et il est généralement rapporté au *poids d'un véhicule pesant une tonne :* nous le désignerons toujours par le symbole F.

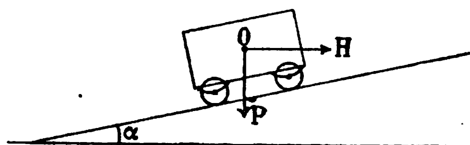


Fig. 2.

Supposons un véhicule pesant N kilogrammes, animé d'une vitesse V, exprimée en mètres par seconde ; le véhicule se déplaçant sur une voie en palier, la puissance à fournir à la voiture à chaque instant, pour lui conserver sa vitesse, sera :

$$P = N.F.V. ; \qquad (1)$$

elle sera exprimée en kilogrammètres par seconde. Ce produit P est appelé la *puissance de traction.*

Pour exprimer cette valeur en chevaux-vapeur, il suffira de diviser l'expression (1) par le coefficient 75 (1 cheval-vapeur = 75 kilogrammètres par seconde), soit :

$$P_1 = \frac{N.F.V.}{75}.$$

et, enfin, si l'on veut avoir la puissance de traction, à un moment donné, exprimée en chevaux-heure, l'on aura :

$$P_2 = \frac{N.F.V.}{75 \times 3.600} = \frac{N.F.V.}{270.000}.$$

L'effort de traction F n'est pas tout à fait indépendant de la vitesse V ; mais, dans la pratique, on le considère comme constant à ce point de vue.

Nous avons supposé, dans ce qui précède, que le profil de la ligne était en palier et en alignement droit : ce cas se présente très rarement dans la pratique.

Examinons maintenant le cas où le profil de la ligne présente une rampe de x millimètres par mètre. Pour traîner en palier le véhicule de poids N, il faut un effort de traction égal à F. Quel sera l'effort supplémentaire F_1 pour remorquer le même véhicule sur une rampe de x millimètres par mètre ?

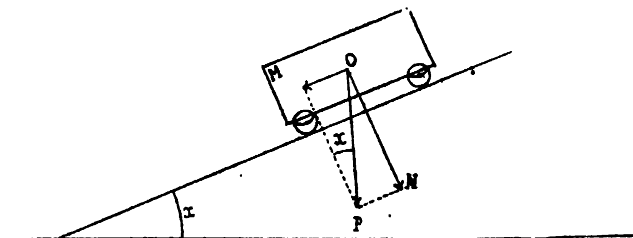


FIG. 3.

Cet effort supplémentaire est égal et opposé à la force sous l'influence de laquelle le véhicule descendrait la pente par son propre poids.

La force OP (*fig*. 3), qui représente le poids N du véhicule, peut se décomposer suivant ON, perpendiculaire au tracé et qui sert à l'adhérence, et OM, parallèle à ce tracé : c'est la force antagoniste qu'il s'agit d'équilibrer ; elle a pour valeur :

$$OM = OP \sin x.$$

Comme les angles avec l'horizontale qui représentent les rampes sont toujours très petits, on peut confondre le sinus de ces angles avec leur arc, ce qui donne :

$$F_1 = OM = OP.x$$

En palier, l'effort nécessaire aurait été égal à :

$$OP \times F$$

de sorte que l'effort total est :

$$\begin{aligned} F_t &= OP \times F + OP \times x. \\ &= OP\,(F + x.) \end{aligned}$$

et comme OP est égal au poids N du véhicule et qu'on prend N égal à 1 tonne, on a :

$$F_t = (F + x)$$

ce qui veut dire qu'une rampe donnée x *augmente l'effort de traction par tonne, d'autant de kilogrammes qu'il y a, dans l'expression de la rampe, de millimètres par mètre.*

Exemple. — Si l'on suppose une ligne de longueur L à rampe uniforme de x millimètres par mètre, quelle sera la puissance dépensée P par un véhicule pesant 1 tonne pour effectuer ce chemin de longueur L, à la vitesse V, en supposant que l'effort de traction soit égal à F (*fig.* 4)?

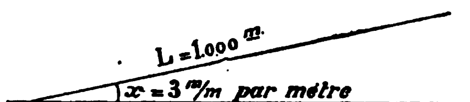


Fig. 4.

On a :

$$P = 1.000 \times L.(F + x).V \text{ kilogrammètres.}$$

Si l'on prend : L = 1.000 mètres;
F = 12 kilogrammes par tonne;
x = 3 millimètres par mètre;
V = 2 mètres par seconde ;
on aura, pour un véhicule pesant une tonne :

$$P = 1.000 \times (12 + 3) \times 2 = 30.000 \text{ kilogrammètres,}$$

soit en chevaux-vapeur-heure :

$$P = \frac{30.000}{75 \times 3.600} = 0,11.$$

Cas général qui se présente dans la pratique. — Les cas examinés précédemment se présentent rarement dans la pratique. Le cas pratique est celui d'un profil composé de pentes et de rampes, en alignement droit et en courbe.

Il s'agit donc de se rendre compte, par le calcul, de l'effort total à faire sur un profil quelconque.

Ce calcul, pour être complet, peut se diviser en quatre parties :

1° ***Rampes en alignement droit.*** — La formule qui s'applique, dans ce cas, est celle qui a été trouvée plus haut ; soit :

$$P_r = L(F + x).V.$$

2° ***Pentes en alignement droit.*** — Dans ce cas on affecte du signe — l'effort supplémentaire qui serait nécessaire si l'on considérait cette pente comme une rampe. La formule devient :

$$P_p = L(F - x).V.$$

De sorte que ces deux cas peuvent être exprimés par la même formule :

$$P = L(F \pm x).V,$$

en prenant le signe + pour les rampes et le signe — pour les pentes, car remarquons qu'une *rampe* considérée à l'aller devient une *pente* au retour.

Disons, en passant, que le facteur $(F - x)$ ne devra pas être inférieur dans la pratique à 10 kilogrammes.

3° ***Rampes en courbes.*** — Quand le véhicule passe dans une courbe de faible rayon, de 15 à 25 mètres par exemple, les roues intérieures parcourant un chemin plus petit que les roues extérieures, il se produit un glissement qui est encore accentué par le parallélisme des essieux ; de plus, à ce moment, les boudins frottent contre les rails. De l'ensemble de ces faits, il résulte une résistance supplémentaire, qui est loin d'être négligeable, comme on le verra plus loin.

Pour tenir compte de cette résistance, l'on ajoute à la formule ordinaire le terme :

$$\frac{370}{R - 10},$$

qui a été déterminé pratiquement et dans lequel R représente le rayon de la courbe considérée. Cet effort supplé-

mentaire est compté par unité de longueur et en supposant la vitesse égale à 1 mètre par seconde.

Comme on le voit, cette résistance supplémentaire est inversement proportionnelle au rayon de la courbe.

Exemple. — Cette résistance supplémentaire est loin d'être négligeable, surtout dans les lignes de tramways des villes où les courbes sont, en général, d'un diamètre réduit.

Si, en effet, on prend une courbe de 20 mètres de rayon, sur une longueur de 50 mètres, on a comme résistance supplémentaire par tonne :

$$50 . \frac{370}{20 - 10} = 1.850 \text{ kilogrammètres.}$$

Au contraire, dans les courbes à grand rayon, on peut négliger cette résistance ; pour une courbe de 200 mètres de rayon sur 50 mètres on a, par tonne :

$$50 . \frac{370}{200 - 10} = 95 \text{ kilogrammètres.}$$

Nous donnons, dans le tableau suivant, la résistance supplémentaire pour des rayons de divers diamètres et comptée pour 1 mètre de longueur et par tonne.

RAYON DE LA COURBE en mètres R	EFFORT SUPPLÉMENTAIRE $\frac{370}{R - 10}$ par tonne et par mètre en kilogrammètres
15	74
20	37
25	25
30	19
35	15
40	12
50	9
60	7,5
70	6
80	5
90	4,5
100	4
150	2,6
200	1,9

La formule complète, dans le cas de rampes en courbes, sera donc :

$$P_r = L\left[(F + x) + \frac{370}{R - 10}\right] \cdot V.$$

4° ***Pentes en courbes.*** — Par analogie, la formule deviendra :

$$P_p = L\left[(F - x) + \frac{370}{R - 10}\right] \cdot V.$$

De sorte que ces deux cas peuvent être exprimés par la même formule:

$$P = L\left[(F \pm x) + \frac{370}{R - 10}\right] \cdot V,$$

en choisissant le signe convenable.

Enfin, pour être aussi exact que possible, il faut tenir compte des efforts supplémentaires dus à divers frottements, à l'adhérence, etc., et, pour en tenir compte, on multiplie la puissance trouvée par le rapport :

$$\frac{6}{5} = 1,20 \cdot$$

La formule complète et pratique est donc :

$$P = L\left[(F \pm x)\,\frac{6}{5} + \frac{370}{R - 10}\right] \cdot V,$$

$$= L\left[(F \pm x) \times 1,2 + \frac{370}{R - 10}\right] \cdot V.$$

En dehors des raisons exposées plus haut, qui peuvent augmenter la puissance à fournir pour remorquer le véhicule, il y en a d'autres qui sont plus ou moins bien déterminées, car les causes en sont assez complexes et mal connues.

Démarrages. — Parmi l'une des plus importantes, et que l'on peut apprécier par l'expérience, il faut noter l'effort supplémentaire à fournir pour les démarrages et les arrêts qui sont si fréquents dans le cas d'un tramway urbain.

Soient : f, l'effort supplémentaire de traction pour le démarrage d'une tonne ;

t, le temps que dure ce démarrage, exprimé en secondes ;

v, la vitesse au bout de ce temps t.

On a la relation simple :

$$f = \frac{1.000.v}{g \times t} = \frac{1.000.v}{9,81.t.} \text{ kilogrammes,}$$

$$f = 102 \frac{v}{t}.$$

En faisant varier les valeurs de v entre 2 et 5 mètres par seconde, et celles de t entre 5 et 2 secondes, on obtient pour l'effort supplémentaire f différentes valeurs, contenues dans le tableau suivant :

VITESSE ATTEINTE À LA FIN DU DÉMARRAGE : v	EFFORT SUPPLÉMENTAIRE POUR UNE DURÉE DU DÉMARRAGE EN SECONDES ÉGALE À :			
	$t = 5$	$t = 10$	$t = 15$	$t = 20$
2 mètres : seconde	40,8^{kgs}	20,4^{kgs}	13,6^{kgs}	10,8^{kgs}
3 — —	61,2	30,6	20,4	15,3
4 — —	81,6	40,8	27,2	20,4
5 — —	102	51	34	25,4

A cette augmentation de résistance correspond une puissance supplémentaire qui a pour valeur :

$$P = \frac{1.000.v^2}{g \times 2} = \frac{1.000v^2}{9,81 \times 2} = 51.v^2 \text{ kilogrammètres.}$$

Ce qui donne, pour l'exemple précédent :

v EN MÈTRES	P EN KILOGRAMMÈTRES
2	204
3	459
4	816
5	1.275

On voit, par cet exemple, que l'augmentation de la puissance, due au démarrage, est loin d'être négligeable ; elle est du même ordre de grandeur que celle due aux faibles rayons de courbure. Nous reviendrons, par la suite, sur cette question du démarrage, et nous ferons ressortir, par des exemples pris dans la pratique courante, l'importance de ce facteur combiné avec d'autres encore.

Effort de traction sur différents types de rails. — L'effort de traction varie suivant le type de rails, sur lesquels la voiture roule. En alignement droit et en palier, on a, sur les types de rails considérés, les efforts correspondants suivants :

	EFFORT DE TRACTION PAR :	
	VOITURES A DEUX ESSIEUX pesant en charge 6 à 7 tonnes	VOITURES AUTOMOBILES ou locomotives
Voie à rails Vignole, rails saillants.	4 a 6^{kg} par tonne	8 à 10 par tonne
— Marsillon.............	7 à 9 —	12 à 14 —
— Humbert ou Broca....	8 à 10 —	13 à 15 —

Comme on le voit, en prenant une valeur égale à 12 kilogrammes par tonne, on reste dans la moyenne.

Adhérence. — L'adhérence est le coefficient de frottement du fer sur le fer, ou de l'acier sur l'acier, si les bandages des roues et les rails sont en fer ou en acier.

Ce coefficient limite la puissance de traction du véhicule moteur. Si l'on désigne par a le coefficient d'adhérence et par p la charge exprimée en kilogrammes par essieu moteur, la limite de la puissance de traction est donnée par le produit $a.p$.

Le poids p est quelquefois appelé *poids adhérent.*

Le coefficient d'adhérence a est fonction de plusieurs variables ; il dépend surtout de l'état hygrométrique de l'atmosphère, mais aussi de l'entretien des voies et du type de rails employé.

Pour le rail à champignon, on a les valeurs maxima :

Par un temps très sec	0,25
Par un temps légèrement humide, avec brouillard, il varie de	0,1 à 0,12
Dans les conditions les plus ordinaires	0,14 à 0,17

Dans les calculs on peut admettre 0,14 comme chiffre moyen. Ces chiffres sont exprimés en pour cent du poids total.

Coefficient de traction. — Si l'on considère un véhicule placé sur ligne à profil quelconque (*fig.* 2), le rapport de la composante horizontale OH, qui retient ce véhicule, au poids du véhicule, représenté par OP, s'appelle le *coefficient de traction* qui s'applique à la ligne considérée.

Ce *coefficient de traction* varie beaucoup selon la nature et l'état de la voie considérée. Pour en donner une idée, nous réunissons dans le tableau suivant, différents coefficients de traction, exprimés en pour cent, dans divers cas [1] :

1° Pavé de grès en assez mauvais état d'entretien	2
2° Route macadamisée en bon état, bien sèche, la voiture étant sur le milieu de la chaussée	1,5
3° Même route, la voiture étant sur le revers de la chaussée	2,7
4° Même route, après une pluie	3,33
5° Terrain solide recouvert d'herbe	5
6° Terre forte nouvellement remuée et humide	11
7° Route nouvellement empierrée, suivant l'épaisseur de l'empierrement	de 8 à 16
8° Ornières profondes et boueuses	25
9° Bitume comprimé	1
10° Pavé ordinaire	de 1,4 à 2,2
11° Macadam détrempé	2,1 à 3,3
12° Asphalte	1 à 1,5
13° Tramway en alignement, voie propre	1
14° — — voie sale	2
15° Chemin de fer, voie bien entretenue	0,5

Calcul de l'effort de traction total et moyen et de la puissance, dans le cas général d'un profil quelconque donné. — Etant donné un profil quelconque (*fig.* 5), il s'agit de calculer l'effort total de traction, de façon à pouvoir calculer la puissance de traction, d'où l'on déduira la

[1] *Formulaire de l'Électricien.* HOSPITALIER, 1896.

puissance mécanique nécessaire à la station génératrice.

L'exemple que nous donnons est la résolution pratique de l'étude de la ligne de tramways allant du Trocadéro à La Villette, étudiée par l'auteur.

Nous allons calculer, au moyen des formules données précédemment, l'effort en kilogrammètres qu'il faut faire sur chaque élément de la ligne. Pour cela, nous prenons chaque longueur élémentaire l (exprimée en mètres), avec sa rampe ou sa pente spéciale r (exprimée en millimètres), et nous appliquons la formule, dans laquelle le chiffre 15 représente l'effort de traction en palier. On a :

$$l\,(15 \pm r)\,\frac{6}{5}.$$

Nous dressons le tableau suivant, dans lequel la première colonne représente les longueurs élémentaires l; la deuxième colonne, les pentes ou rampes r. La quatrième colonne donne le facteur $(15+r)$; la cinquième colonne est le facteur $(15r) \times \frac{6}{5}$ tout calculé. Enfin, la sixième colonne représente les efforts élémentaires exprimés en kilogrammètres et se rapportant soit aux pentes (aller et retour) ou aux rampes (aller et retour).

Par exemple, le premier élément de 30 mètres, avec une rampe de 7 millimètres par mètre, donne :

Pour la rampe (aller) :

$$30 \times (15 + 7)\,\frac{6}{5} = 792 \text{ kilogrammètres ;}$$

Pour la pente (retour) :

$$30 \times (10)\,\frac{6}{5} = 360 \text{ kilogrammètres.}$$

L'effort de traction en pente est pris égal à 10, au lieu de $15 - 7 = 8$, qui serait trop faible, comme on l'a fait remarquer précédemment.

On a ainsi les tableaux suivants :

LIGNE DU TROCADÉRO A LA VILLETTE (Paris)

l Longueur en mètres	r Pentes ou rampes en millimètres	Pentes	$r + 15$ Rampes	$(r + 15)\frac{6}{5} = R$	EFFORT EN KILOGRAMMÈTRES = Rl			
					PENTES		RAMPES	
					Aller	Retour	Aller	Retour
30	7	10	22	26,4	»	360,0	792,0	»
25	8	—	23	27,6	»	300	690,0	»
31,5	8	—	23	27,6	»	»	»	869,4
26	13	—	28	33,6	»	»	»	873,6
30,5	13	—	28	33,6	»	»	»	1 024,8
38,6	5,2	—	20,2	24,2	»	»	»	934,1
61,5	2,3	—	17,3	20,7	2 257,2	»	»	1 273,0
39,6	1,3	—	16,3	19,5	475,2	140,4	722,2	»
7,8	0	—	15	18	»	»	140,4	»
97,0	1,56	—	16,56	19,8	»	»	»	1 920,6
37,0	1,56	—	16,56	19,8	1 608,0	»	»	732,6
75,8	0,26	—	15,26	18,31	»	»	1 387,1	»
10,1	2,0	—	17	20,4	»	1 030,8	2 060,4	»
34,9	1,14	—	16,14	19,3	»	»	»	673,5
47,8	1,184	—	16,184	19,4	»	»	»	927,3
36,6	1,184	—	16,184	19,4	»	»	»	710,0
43,6	1,47	—	16,47	19,7	»	»	»	758,9
92,4	1,47	—	16,47	19,7	3 063,6	»	»	1 820,2
10,3	0	—	15	18	»	185,4	185,4	»
60	4,62	—	19,62	23,54	»	»	»	1 412,0
73,8	4,62	—	19,62	23,54	»	»	»	1 737,3
81,6	3,921	—	18,92	22,68	»	»	»	1 852,3
66,1	2,3	—	17,3	20,7	»	»	»	1 368,3
141,1	6,6	—	21,6	25,9	5 071,2	»	»	2 654,5
83,3	4,4	—	19,4	23,28	»	999,6	1 939,2	»
					12 475,2	3 016,2	7 916,7	21 542,4

l Longueur en mètres	r Pentes ou rampes en millimètres	Pentes	$r + 15$ Rampe	$(r + 15)\frac{6}{5} = R$	EFFORT EN KILOGRAMMÈTRES = Rl			
					PENTES		RAMPES	
					Aller	Retour	Aller	Retour
74,5	2,3	10	17,3	20,7	»	»	»	1 542,1
65,0	1,8	—	16,8	20,1	1 674,0	»	»	1 306,5
80,5	0,6	—	15,6	18,72	»	966,0	1 506,9	»
80,5	2	—	17	20,4	966,0	»	»	1 642,2
89,7	5,1	—	20,1	24,1	»	1 076,4	2 161,7	»
15	30	—	45	54	»	»	»	810,0
74,3	33	—	48,1	57,7	»	»	»	4 287,1
24,5	30	—	45,0	54	»	»	»	1 323,0
13,1	34,3	—	49,3	59,1	»	»	»	774,3
51,3	33,2	—	48,2	57,8	»	»	»	2 965,1
53,0	34,0	—	49,0	58,8	»	»	»	3 116,4
186,6	33,9	—	48,9	58,6	»	»	»	10 934,7
75,0	9	—	24,0	28,8	5 913,6	»	»	2 160,0
36,7	1	—	16,0	19,2	»	»	704,6	»
25,5	2,7	—	17,7	21,2	»	746,4	540,6	»
33,0	2,7	—	17,7	21,2	396,0	»	»	700,9
30,6	1,6	—	16,6	19,9	»	367,2	608,9	»
39,5	0,2	—	15,2	18,2	403	»	»	715,9
170,4	3,2	—	18,2	21,8	2 519,0	«	»	3 714,7
137,7	3,7	—	18,8	22,5	»	165,2	»	3 098,2
15,5	1,9	—	16,9	20,3	186,0	»	»	314,9
280	4,2	—	19,2	23	»	»	»	6 440,0
425	9,1	—	24,1	28,9	»	»	»	1 228,2
235,0	13,0	-	28	33,6	»	»	»	7 896,0
205	13,8	—	28,8	34,2	»	»	»	7 011,0
85	7,5	—	22,5	27,0	»	»	»	2 295,0
39,5	7,5	—	22,5	27	»	»	»	1 066,5
211,5	7,5	—	24,5	29,4	»	13 182,0	»	6 218,1
					12 057,6	16 503,2	5 522,7	71 560,5

l Longueur en mètres	r Pentes ou rampes en millimètres	Pentes	Rampes $(r + 15)$	$(r + 15)\frac{6}{5} = R$	EFFORT EN KILOGRAMMÈTRES = Rl — PENTES — Aller	PENTES — Retour	RAMPES — Aller	RAMPES — Retour
123,45	1,6	10	16,6	19,9	1 481,4	»	»	2 456,6
93	7,5	—	22,5	27,0	»	»	2 501,0	»
126,4	7,3	—	22,3	26,7	»	»	3 374,9	»
68,5	7,0	—	22,0	26,4	»	»	1 808,4	»
196	15,2	—	30,2	36,2	»	»	7 095,2	»
25	18,8	—	33,8	40,8	»	»	1 020,0	»
25,5	19,2	—	34,2	41,0	»	»	1 045,5	»
70	21,6	—	36,6	43,9	»	»	3 073,0	»
29	21,7	—	36,7	44,0	»	»	1 276,0	»
321	2,3	—	17,3	20,7	»	1 145,4	6 644,7	»
192	2,9	—	17,9	21,48	230,4	»	»	4 124,2
197	7,6	—	22,6	27,1	»	»	5 338,7	»
111	12	—	27	32,4	»	3 696,0	3 596,4	»
63	15	—	30	36,0	756,0	»	»	2 268,0
108	24,3	—	39,3	47,2	»	»	5 097,6	»
66	5,1	—	20,1	24,1	»	»	1 590,6	»
150	11,8	—	26,8	32,1	»	3 888,0	4 815,0	»
225	5,9	—	21,9	26,3	»	»	»	5 917,5
190	40	—	55,0	61	»	»	»	11 590,0
130	4	—	19	22,8	»	»	»	2 964,0
245	12	—	27	32,4	»	»	»	7 038,0
72,1	13,6	—	28,6	34,3	»	309	2 473,0	»
98,8	16,7	—	31,7	38,0	»	205,1	3 754,0	»
182,9	16,6	—	31,6	37,9	»	»	»	6 931,9
160,7	6,5	—	21,5	25,8	»	»	»	4 146,0
224,9	9,6	—	24,6	29,5	»	»	»	6 634,5
299	3,3	—	18,3	22	»	3 595,2	6 578,0	»
172,0	2	—	17	20,4	2 064,0	»	»	3 508,8
					4 521,8	12 530,7	61 082,0	58 479,5

En totalisant les résultats obtenus dans les tableaux ci-dessus, on a :

EFFORT TOTAL EN KILOGRAMMÈTRES
POUR REMORQUER UN VÉHICULE DU POIDS DE 1 TONNE
(*voyage complet : aller et retour*)

1° POUR LES PENTES		2° POUR LES RAMPES	
Aller	Retour	Aller	Retour
29.075	32.050	74.521	151 582
Pour les pentes totalisées : 61.125 kilogrammètres.		Pour les rampes totalisées : 226.103 kilogrammètres.	

L'effort total pour remorquer 1 tonne (aller et retour) est donc, sur la ligne considérée :

$$61.125 + 226.103 = 287.228 \text{ kilogrammètres.}$$

Effort moyen. — La longueur de la ligne est de $8.718^m,65$; la voiture, pour un voyage double, aura donc parcouru $8.718^m,65 \times 2 = 17.437^m,30$, ce qui donne comme *effort moyen*, pour remorquer 1 tonne :

$$\frac{287.228}{17.337,3} = 16^{kg},56,$$

soit $16^{kg},6$.

Comme nous le voyons, l'*effort moyen de traction* est donc le quotient de l'effort total exprimé en kilogrammètres, par la double distance des deux points terminus. C'est ce coefficient qui nous servira à calculer la puissance nécessaire à la station centrale génératrice.

L'auteur a étudié quelques lignes de tramways, tant à Paris qu'en province ; les chiffres suivants donnent le résumé des calculs se rapportant à l'effort moyen :

ATIGNOLLES

Rue Clapeyron

R de Turin

54.50

55.02

26.40

68.50

2423.10

2491.60

-0m0073 R-0m007 Ra

BOU

Rue Château Landon

51.60

30

5575.05

0096

B

Effort moyen sur différentes lignes de tramways. — *Tramway du Trocadéro-La Villette.* — Distance : 8.718^{m},65 ; voyage complet : 2 × 8.718^{m},65 = 17.437^{m},3.

Aller et retour.	L'effort en kilogrammètres dû aux rampes.	226.104
	— — aux pentes..	61.125
	Effort total pour remorquer 1 tonne..	287.228

L'*effort moyen* pour remorquer 1 tonne est de :

$$\frac{287.228}{17.437,3} = 16^{kg},56.$$

Tramway de La Madeleine à Asnières (par la rue de Rome). — Distance : 5.810^{m},5 ; voyage complet : 2 × 5.810^{m},5 = 11.621 mètres.

Effort en kilogrammètres dû aux rampes.....	196.082
— — aux pentes......	74.276
Effort total pour remorquer une tonne.	270.358

L'effort moyen est :

$$\frac{270.358}{11.621} = 23^{kg},3.$$

Tramway Madeleine-Levallois-Perret. — Distance : 4.743 mètres ; voyage complet : 9.486 mètres.

Effort en kilogrammètres dû aux rampes....	127.680
— — aux pentes.....	56.916
Effort total....	184.596

L'effort moyen correspondant sera :

$$\frac{183.596}{9.486} = 19^{kg},4 \text{ par tonne.}$$

Tramway de Lyon. — Distance : 2.749 mètres ; voyage complet : 5.498 mètres.

Effort total.... 181.361 kilogrammètres.

Effort moyen.. $\frac{161.861}{5.458} = 33$ kilogrammes.

Ce profil est représenté schématiquement par la figure 6.

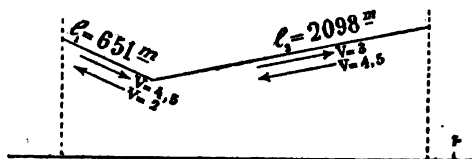


Fig. 6.

Tramway de Bordeaux : ligne Fondaudège. — Distance en voie simple : 1.550 mètres; en voie double : 1.825 mètres; distance totale : 3.375 mètres ; double distance : 6.750 mètres.

Effort total en kilogrammètres... 135.000.

Effort moyen.. $\frac{135.000}{6.750} = 19$ kilogrammes.

Exemple pratique du calcul de la puissance de la station génératrice alimentant une ligne donnée avec un trafic déterminé. — Pour calculer la puissance nécessaire à la station centrale, alimentant une ligne d'un trafic donné, on peut employer plusieurs méthodes ; l'une des meilleures, à notre avis, est la suivante, et nous l'appliquerons à un exemple pratique, qui est celui de la ligne de La Madeleine à Levallois-Perret (*fig.* 7).

Cette ligne a une longueur de 4.743 mètres, ce qui fait, pour un voyage complet (aller et retour), une longueur de $2 \times 4.743 = 9.486$ mètres.

La vitesse admise serait de 10 kilomètres à l'heure, ce qui permettrait de faire un voyage aller en trente minutes : les voitures partant toutes les cinq minutes, on aura donc 6 voitures montantes et 6 voitures descendantes.

Le poids de la voiture serait de 11 tonnes.

Etant données ces conditions, il s'agit de calculer la puissance à fournir par l'usine aux moteurs, pour actionner les 12 voitures qui y circulent normalement.

Pour cela, nous divisons le trajet en trois sections, AB, — BC, — CD (*fig.* 7), dans chacune desquelles il y aura deux voitures montantes et deux voitures descendantes.

Nous divisons chaque section en deux sous-sections pour obtenir le plus de combinaisons possible, on aura ainsi les sous-sections *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, et nous choisissons les points les plus défavorables pour obtenir la puissance maxima : nous prendrons la moyenne du résultat.

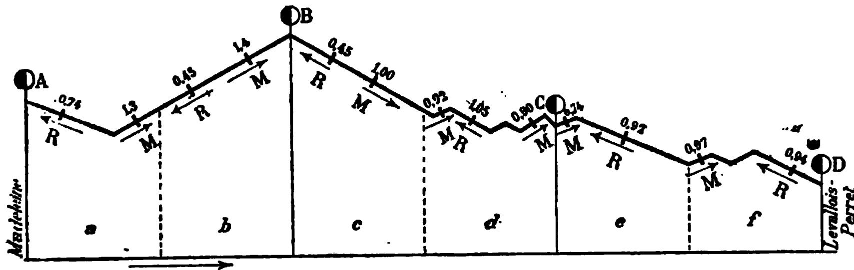


Fig. 7. — Schéma du profil de la ligne de La Madeleine à Levallois-Perret.

En appelant M les voitures qui vont, et R celles qui reviennent, on a, en ces différents points, les puissances partielles :

$$M_a + M_c + M_e + R_f + R_d + R_b$$
$$M_b + M_d + M_f + R_e + R_c + R_a.$$

En appliquant la formule générale indiquée plus haut :

$$P = \frac{N(r + 15)\frac{6}{5} \times V}{75}. \qquad (1)$$

dans laquelle nous ferons :

$$N = 1, \quad \text{et:} \quad V = 2^m,8 \text{ à la seconde,}$$

car, pour 10.000 mètres à l'heure, on a :

$$V = \frac{10.000}{3.600} = 2^m,8 \text{ à la seconde.}$$

Dans la formule générale le chiffre 15 représente l'effort de traction moyen ; mais il y a lieu, pour une ligne donnée,

comme c'est le cas, de déterminer bien exactement l'effort moyen s'appliquant à la ligne considérée.

Pour la ligne Madeleine-Levallois-Perret, en appliquant la méthode indiquée plus haut, on a trouvé :

Aller et retour.	Effort en kilogrammètres dû aux rampes.	127.680
	— aux pentes.	56.916
	Effort total pour remorquer 1 tonne..	184.596

L'effort moyen correspondant sera :

$$\frac{184.596}{9.486} = 19^{\text{kg}},4 \text{ par tonne.}$$

La formule précédente (1) devient donc :

$$P = \frac{(r + 19,4)\frac{6}{5} \times 2,8}{75}.$$

Il suffit de remplacer r par les valeurs correspondantes aux points choisis. On a ainsi [1] :

$$M_a = \frac{36,9 \times 2,8}{75} = 1,3\text{HP}$$
$$M_c = \frac{12 \times 2,8}{75} = 0,45$$
$$M_e = \frac{24 \times 2,8}{75} = 0,90$$
$$R_f = \frac{25,2 \times 2,8}{75} = 0,94$$
$$R_d = \frac{28,3 \times 2,8}{75} = 1,05$$
$$R_b = \frac{12 \times 2,8}{75} = 0,45$$
$$5,09\text{HP}$$

$$M_b = \frac{38,16 \times 2,8}{75} = 1,44\text{HP}$$
$$M_d = \frac{24,4 \times 2,8}{75} = 0,92$$
$$M_f = \frac{26,4 \times 2,8}{75} = 0,97$$
$$R_e = \frac{24,6 \times 2,8}{75} = 0,92$$
$$R_c = \frac{27,2 \times 2,8}{75} = 1,00$$
$$R_a = \frac{20,1 \times 2,8}{75} = 0,74$$
$$5,99\text{HP}$$

(1) Les cotes de la figure 7 sont exprimées en centimètres. Lire ces cotes en millimètres, en les multipliant par 10.

La puissance totale, pour remorquer 1 tonne, sera donc la somme de ces résultats, soit :

$$\sum M + R = 5,09 + 5,99 = 11,08 HP,$$

et pour 11 tonnes, qui est le poids réel d'une voiture, on aura comme puissance totale à fournir aux moteurs :

$$11,08 \times 11 = 121,8, \text{ soit } 122 HP.$$

En admettant un rendement de 50 pour cent, entre les machines à vapeur et les moteurs des voitures, on aura à l'usine :

$$\frac{122}{0,5} = 244, \text{ soit 250 chevaux-vapeur installés.}$$

Puissance des moteurs sur les voitures. — Pour calculer la puissance du moteur électrique des voitures, il suffit de prendre le point le plus défavorable ; dans ce cas c'est :

$$M_b = 1,44 HP \text{ pour 1 tonne},$$

il faudra pour les 11 tonnes de la voiture un moteur de :

$$1,44 \times 11 = 16 HP.$$

Remarque. — Quand on calcule la puissance à fournir sur une ligne donnée, on conçoit que la vitesse peut varier selon le profil. Pour se rendre compte de la vitesse qu'a la voiture, en un point quelconque du profil, il suffit de prendre les vitesses maxima et minima ; on établit l'échelle des vitesses en portant en ordonnées ces vitesses, et en absisses les rampes.

Exemple : soit 4 mètres par seconde la vitesse maxima en palier, et 2 mètres par seconde la vitesse minima sur une rampe de 5 millimètres par mètre ; on a la figure 8, qui permet de calculer immédiatement la vitesse correspondant à une rampe donnée. Exemple : La vitesse sur une rampe de 1 millimètre par mètre est mesurée par l'ordonnée *ab*,

de même que celle sur une rampe de $3^{mm},5$ par mètre est mesurée par *cd*.

On peut donc, connaissant en chaque point la vitesse, calculer par les formules connues la puissance en chevaux à développer en un point quelconque.

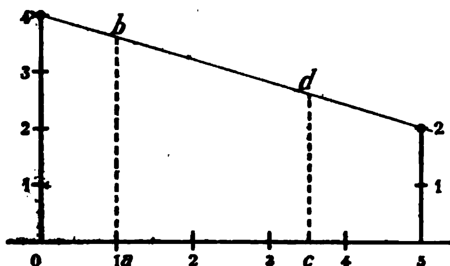


Fig. 8. — Échelle de vitesses sur une rampe donnée.

On pourra donc gravir une rampe donnée à la vitesse que l'on voudra : ce ne sera qu'une question de dépense supplémentaire d'énergie. De même, la mise en vitesse des voitures demande un certain supplément de puissance, et, par une conduite rationnelle des voitures, on pourra faire des économies d'énergie de ce chef : c'est ce que nous allons examiner.

Variations de la puissance de traction avec la vitesse. — Nous avons supposé l'effort de traction indépendant de la vitesse; cela n'est pas tout à fait exact en pratique; mais ce n'est pas le facteur principal qui intervient pour faire varier la puissance de traction avec la vitesse. La cause principale de cette variation est la résistance de l'air sur la section carrée de la voiture. D'après les expériences faites, la puissance de traction augmente beaucoup avec la vitesse. Pour donner une idée de l'ordre de grandeur de cette augmentation, nous citerons les expériences faites par la Compagnie Thomson-Houston et celles relatées par le *Street-Railway Journal*.

1° CHIFFRES DONNÉS PAR LA COMPAGNIE THOMSON-HOUSTON

Vitesse en kilomètres à l'heure.......	48	42	36	32	19	27	24
Puissance en chevaux-vapeur par tonne remorquée.................	3,00	2,45	1,66	1,50	1,00	0,82	0,62

2° CHIFFRES DONNÉS PAR LE *STREET-RAILWAY JOURNAL*

avec une voiture de 20 *et* 10 *tonnes et d'une section de* $7^{m2},0$

Vitesse en kilomètres à l'heure..	54	48	36	30	25	20	15	8
Puissance en chevaux - vapeur avec une voiture de 20 tonnes, par tonne remorquée.........	4,81	3,81	2,28	1,71	1,81	0,98	0,69	0,34
Puissance en chevaux - vapeur avec une voiture de 10 tonnes.	3,35	2,91	1,91	1,49	1,19	0,92	0,66	0,34

Ces chiffres se rapportent à une ligne en palier : on voit combien ils sont variables; on déduit également de ces chiffres que la puissance de traction n'est pas proportionnelle au poids remorqué.

Dans le même ordre d'idées, le *Street-Railway Journal* a donné les chiffres, contenus dans le tableau ci-dessous, pour calculer la puissance capable de remorquer 1 tonne sur différentes rampes. Les chiffres sont exprimés en kilogrammètres, et ceux qui se rapportent à la résistance de l'air ont été obtenus avec une voiture présentant une section de 7 mètres carrés.

VITESSE en mètres par seconde	VITESSE en kilomètres à l'heure	KILOGRAMMÈTRES absorbés par la résistance de l'air	EFFORT NÉCESSAIRE EN KILOGRAMMÈTRES POUR REMORQUER 1 TONNE SUR DES RAMPES EN MILLIMÈTRES DE : Palier 0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2,22	8	6,13	25	48	70	92	115	137	159	181	205	225	247	270	292	314
4,17	15	40,61	48	90	131	173	215	256	298	340	381	422	465	507	548	590
5,55	20	95,75	64	115	175	250	286	341	397	452	508	563	619	674	730	785
6,95	25	188,00	80	149	219	288	358	427	»	»	»	»	»	»	»	»
8,33	30	324	96	179	262	345	429	»	»	»	»	»	»	»	»	»
10	36	560	115	215	315	415	515	»	»	»	»	»	»	»	»	»
11,10	40	»	128	239	350	461	572	»	»	»	»	»	»	»	»	»
12,50	45	»	144	269	394	519	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
13,33	48	1.327	153	286	420	553	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
15,00	54	1.890	172	322	472	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»

Énergie supplémentaire absorbée pour gravir des rampes et pour la mise en vitesse de la voiture. — Si l'on considère que, pour parcourir 1 kilomètre, une voiture absorbe une certaine quantité d'énergie électrique, l'on peut dire que la plus grande partie de cette énergie est employée à mettre la voiture en vitesse et pour gravir les rampes. M. Hering a spécialement étudié l'influence de ces divers facteurs, et il est arrivé au résultat suivant (1).

Il fit toute une série d'expériences sur la même voiture et dans les mêmes conditions. Il trouva que, dans les conditions où il se trouvait, on dépensait par voiture-kilomètre 812 watts-heure, soit 298.000 kilogrammètres. Comme le rendement sur l'essieu moteur n'était que de 60 pour cent, on avait sur cet essieu :

$$298.000 \times 0,6 = 178.000 \text{ kilogrammètres dépensés.}$$

Le coefficient de traction était égal à 6 kilogrammes en palier par tonne, le poids de la voiture était de 8,5 tonnes; pour remorquer la voiture, l'on dépensait :

$$6 \times 8,5 \times 1.000 = 51.000 \text{ kilogrammètres,}$$

soit :

$$\frac{51.000 \times 100}{178.000} = 28,6 \text{ pour cent}$$

du travail total sur l'essieu moteur. La différence :

$$178.000 - 51.000 = 127.000 \text{ kilogrammètres,}$$

soit 72,4 pour cent, était absorbée *par la mise en vitesse et pour gravir les rampes.*

Cet exemple se rapporte à la marche *en palier;* pour donner une idée de l'importance que peut avoir la mise en vitesse, en soustrayant ce qui est nécessaire pour gravir

(1) *The Electrical World*, novembre 1895.

une rampe donnée, prenons comme exemple une rampe uniforme de 5 millimètres par mètre : l'effort de traction devient environ:

$$6 + 5 = 11 \text{ kilogrammes};$$

la dépense d'énergie pour remorquer la voiture seule dans ces conditions est:

$$11 \times 8{,}5 \times 1.000 = 93.500 \text{ kilogrammètres},$$

soit:

$$\frac{93.500 \times 100}{178.000} = 52{,}5.$$

De sorte que l'on peut dire que *la moitié environ* de l'énergie fournie par voiture-kilomètre est absorbée par la mise en vitesse, sur une rampe de 5 millimètres.

Pour atténuer l'importance de ces pertes, M. Hering propose de récupérer l'énergie dans les pentes et d'employer, pour marcher, l'action seule de la pesanteur. En reprenant ces données, M. Hering admettant qu'on puisse récupérer ou économiser la moitié de l'énergie correspondant à ces pertes, on économiserait par voiture-kilomètre 175 watts-heure. Si l'on compte le prix de revient du kilowatt-heure à 5 centimes, et si la voiture parcourt 200 kilomètres par jour, l'économie annuelle résultante sera, avec 15 voitures :

$$365 \times 15 \times 200 \times \frac{0{,}05 \times 175}{1.000} = 9.580 \text{ francs}.$$

Cette somme représente l'intérêt à 5 pour cent de 191.600 francs.

Avec les mêmes constantes, en supposant 50 voitures en service, l'on aurait une économie annuelle de 31.930 francs représentant un capital de 638.600 francs ; et, en supposant 100 voitures en service, l'on aurait une économie annuelle de 63.860 francs représentant un capital de 1.277.200 francs.

On voit, par ces exemples, que la question a de l'intérêt et qu'elle mérite un examen sérieux.

Nous reviendrons plus spécialement sur cette question de la récupération, quand nous examinerons les tramways automoteurs à accumulateurs.

M. Hering conclut ainsi son étude :

« Une économie considérable peut être réalisée en laissant marcher les voitures le plus possible par la vitesse acquise et en démarrant les voitures lentement. Le courant ne doit être maintenu que le temps strictement nécessaire et *doit être coupé* dès que la vitesse acquise permet d'atteindre l'arrêt suivant.

« Dans les pentes on ne doit employer aucun courant, sauf parfois au moment des démarrages ou quand la pente n'est pas assez prononcée. Dans le service urbain on peut réaliser ainsi des économies considérables. *Les freins ne devraient presque jamais être appliqués :* la légère augmentation dans la durée du parcours qui résulterait de cette manœuvre serait négligeable et les voyageurs ne pourraient s'en apercevoir. »

On peut voir, par les exemples précédents, l'influence du poids de la voiture sur la dépense d'énergie nécessaire pour la remorquer.

M. Hering a déterminé que, pour un voyage avec 20 arrêts et 20 voyageurs dans la voiture, la moyenne de la dépense est de 14 watts-heure par tonne-kilomètre.

Calculons donc l'économie annuelle réalisée par la diminution d'une tonne dans le poids total d'une voiture parcourant 200 kilomètres par jour; le kilowatt-heure coûtant 5 centimes, on a :

$$0,014 \times 0,05 \times 200 \times 365 = 51 \text{ fr. } 10.$$

Avec 15 voitures on aura une économie annuelle de 766 francs représentant l'intérêt à 5 pour cent d'un capital de 15.320 francs ;

Avec 50 voitures l'économie serait de 2.555 francs représentant l'intérêt à 5 pour cent d'un capital de 51.100 francs;

Et avec 100 voitures l'économie serait de 5.110 francs, représentant l'intérêt à 5 pour cent d'un capital de 102.200 francs.

On a donc grand intérêt à diminuer *par tous les moyens possibles* le poids mort des voitures.

D'autre part, M. Hering a établi que la charge *payante*, par voiture, est égale au 10 à 15 pour cent de la charge totale.

Variation de la vitesse sur différentes rampes, avec une même puissance. — On peut se demander quelle sera la variation de vitesse sur des rampes différentes, en supposant que la puissance de traction soit constante.

M. Hedgs a fait quelques expériences à ce sujet, et les chiffres qu'il donne sont les suivants :

En supposant une voiture ayant des roues de 1 mètre de diamètre et équipée avec deux moteurs Thomson-Houston, type G.E. 800, dont la puissance unitaire est de 25 chevaux et développant un effort de traction de 365 kilogrammes, on a, avec différents tonnages, les chiffres suivants :

POIDS TOTAL DE LA VOITURE EN TONNES	VITESSE EN KILOMÈTRES A L'HEURE SUR DES RAMPES EN POUR CENT					
	Palier 0	1	2	3	4	5
10	48	41,6	36	32	28,8	27,2
20	41,6	32	27,2	24	—	—
30	36	27,2	22,4	—	—	—

Faisons remarquer, avec M. Hedgs, que, pour une même vitesse, les poids remorqués, en palier et sur les rampes de 1 à 5 pour cent, sont comme les nombres :

$$1, \quad \frac{1}{2}, \quad \frac{1}{3}, \quad \frac{1}{4}, \quad \frac{1}{5}, \quad \frac{1}{6}.$$

Ce résultat a été confirmé dans les expériences rappor-

tées par le *Street-Railway Journal*, et les chiffres qui en découlent sont les suivants :

$$1, \quad \frac{1}{1,9}, \quad \frac{1}{2,8}, \quad \ldots\ldots, \quad \frac{1}{12,6}$$

pour des rampes en pour cent de :

$$0, \quad 1, \quad 2, \quad \ldots\ldots, \quad 13.$$

On peut donc dire que la puissance de traction nécessaire pour remorquer 1 tonne, sur des rampes de 0, 1, 2, 3, ..., 13, est dans le rapport inverse des nombres 1, 2, 3, 4, ..., 12.

Économie d'énergie possible par la conduite rationnelle de la voiture. — On a vu quelle importance avait la mise en vitesse d'un tramway sur la dépense d'énergie électrique ; un autre facteur très important, pour l'exploitation, est la conduite proprement dite du tramway. Selon que l'on aura un wattman expérimenté ou inexpérimenté, la dépense d'énergie, pour un même parcours et dans les mêmes conditions, pourra varier du simple au double.

M. Hering, dans les expériences dont nous avons déjà parlé, a déterminé l'importance de ce facteur.

Pour le cas du wattman expérimenté, la dépense d'énergie en rampe à l'aller fut égale aux 85 pour cent de la dépense faite par un vattman ordinaire, soit une économie de 15 pour cent ; dans les pentes l'économie atteignit jusqu'à 26 pour cent : l'économie moyenne était donc de 20 pour cent ; la durée du parcours ne fut augmentée que de 2 pour cent. Le parcours avait $22^{km},5$, et il y avait 8 à 10 arrêts pour le voyage complet : l'influence des démarrages était donc de peu d'importance.

M. Hering mesura également l'énergie nécessaire quand la voiture s'arrête à une station et repart, et le supplément d'énergie qu'il faut fournir au véhicule s'il ne s'arrêtait pas à cette station : la moyenne des mesures a donné 85 watts, ce qui, au prix de revient de 5 centimes le kilowatt-heure, fait une dépense de 0,425 centimes.

Conditions de fonctionnement pratique de quelques lignes de tramway. — Pour donner une idée générale des conditions pratiques de fonctionnement des tramways électriques, nous donnons quelques constantes se rapportant aux premiers essais et à des tramways actuellement existants. En 1892, la maison Siemens et Halske, qui venait de terminer les tramways de Budapest, fit des expériences sur deux portions de lignes : les résultats obtenus sont consignés dans le tableau ci-dessous :

ÉLÉMENTS DE FONCTIONNEMENT	NUMÉRO DES EXPÉRIENCES			
	1	2	3	4
Poids de la voiture, en kilos......	4200	4200	4200	4200
Charge —	2535	2535	375	375
Poids total —	6735	6735	4575	4575
Nombre d'essieux moteurs........	2	1	2	2
Longueur de la voie d'essai, en mèt.	312	312	30	30
Rampe en pour cent............	0	0	5,278	9,6
Durée du parcours en secondes...	51	50	8	14
Vitesse en mètre par seconde.....	6,12	6,24	3,75	2,14
— en kilomètres, par heure...	22,03	22,46	13,50	7,70
Diamètre des roues en centimètres.	60	60	60	60
Vitesse angulaire des roues motrices en tours, par minute..........	194,9	198,73	119,43	68,15
Vitesse angulaire de l'induit en tours, par minute.............	549	560	337	192
Rapport de réduction de la vitesse du moteur....................	$\frac{31}{11}$	$\frac{31}{11}$	$\frac{31}{11}$	$\frac{31}{11}$
Différence de potentiel en volts....	282,5	285	266	260
Intensité du courant en ampères..	26	24,5	54	68
Puissance en watts..............	7345	6982,5	14364	17680
Effort de traction en kilos........	101,3	101,03	310,09	507,83
Coefficient de traction en palier...	0,015	0,015	0,015	0,015
Coefficient de traction en pente...	»	»	0,05271	0,096
Puissance mécanique en chevaux..	8,24	8,41	15,50	14,50
Rendement en pour cent.........	82,57	83,62	79,41	60,37
Perte du moteur et des transmissions en pour cent.............	17,43	11,38	20,59	39,63

Les tramways électriques en service en Amérique présentent les conditions normales de fonctionnement qui sont les suivantes :

Poids de la voiture à vide, en tonnes....................	10
Nombre de voyageurs..................................	60

Vitesse moyenne, en comptant les arrêts, en kilomètres par heure, soit la vitesse commerciale	14,5
Vitesse moyenne, en défalquant les arrêts, en kilomètres par heure	21,5
Vitesse maxima en charge, en kilomètres par heure	30
Différence normale de potentiel, en volts	500
Intensité moyenne du courant à vide, en ampères	18
— en charge, en ampères	25
Puissance électrique moyenne fournie en charge, en kilowatts	9
Dépense d'énergie électrique par voiture-kilomètre, en watts-heure	550

Nous donnons, dans le tableau suivant, d'autres conditions de fonctionnement, qui se différencient un peu des précédentes, étant donnée la longueur plus grande de la ligne.

CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT D'UNE LIGNE DE TRAMWAY DE 30 KILOMÈTRES (EN DEUX SECTIONS) ET DE 10 VOITURES

Installée en Amérique, aux États-Unis

Longueur du réseau, voie unique, en kilomètres	30
Nombre de voitures en service	10
Kilomètres parcourus par voiture et par jour	281,6
Vitesse moyenne commerciale, en kilomètres	15,28
Intensité moyenne en ampères par voiture	20
Watts-heure consommés à la station par voiture-kilomètre.	940
— à la voiture —	677
Tension à la station, en volts	560
Tension moyenne de la ligne, en volts	448
Perte maxima de tension en ligne, en volts	49
Perte moyenne dans les feeders (calculée), en volts	14
— à la terre (mesurée) —	15
Rendement actuel de la ligne en pour cent	71
Rendement mesuré d'une ligne neuve en pour cent	81
Maxima de charge en ampères, mesurée à la station centrale, par un temps froid et clair	450

Renseignements nécessaires pour faire l'étude d'une ligne de tramway à traction électrique. — Les documents nécessaires pour cette étude sont peu nombreux, si l'on veut faire un avant-projet; mais, si l'on veut faire

une étude détaillée de l'installation, il est nécessaire de se renseigner complètement.

On peut classer de la manière suivante les documents à fournir pour une première étude :

1° Plan général de la ligne, comprenant : une vue en plan; un profil de la ligne avec les indications de courbes; indication de l'emplacement possible de la station centrale : indiquer s'il existe des chutes dans le voisinage et de l'eau pour la condensation ;

2° Voie : largeur et type de la voie, voie simple (indiquer les évitements existants) ou voie double; indiquer les courbes de rayon maximum et minimum. Indiquer la rampe maxima, et sa distance de l'usine centrale prévue. Si la voie est à poser, indiquer si elle sera dans l'axe des chaussées, en bordure ou en accotement ; indiquer également si l'on est en route pavée, empierrée, etc ;

3° Ligne : emploiera-t-on des poteaux en bois ou métalliques : nature du terrain où seront posés les poteaux. Dans la traversée des rues pourra-t-on fixer les fils tendeurs du fil de travail aux maisons riveraines, au moyen de rosaces ?

4° Types de voitures prévues, avec impériale ou sans impériale; indiquer le type existant, s'il s'agit d'une transformation? Combien peut-on prévoir de voyageurs sur les plates-formes? — Y aura-t-il des voitures remorquées ?

Vitesse maxima admise ;

5° Horaire prévu ;

6° Trafic probable ou actuel ;

7° Renseignements divers sur les prix payés dans la localité pour le charbon (y compris l'octroi et sans octroi) ; — prix de main-d'œuvre des ouvriers serruriers, des maçons, des manœuvres ; — salaire des conducteurs et receveurs, des mécaniciens, des chauffeurs, chefs de dépôt, etc., etc...

8° S'il s'agit d'une transformation de traction animale en traction électrique, fournir un bilan des trois derniers exercices.

DEUXIÈME PARTIE

STATION CENTRALE
VOIE. — MATÉRIEL ROULANT

Nous examinerons, dans les chapitres qui suivent, les données se rapportant à l'établissement pratique des éléments nécessaires pour faire de la traction électrique. Nous examinerons avec quelques détails (en évitant toutefois les descriptions générales et en indiquant plus spécialement les données pratiques) ces divers éléments, qui sont :

1° La *station centrale génératrice électrique ;*

2° La *voie et le fil de trolley ou fil de travail ;*

3° Le *matériel roulant et ses accessoires.*

Nous terminerons en donnant les principaux prix de premier établissement du matériel nécessaire pour l'exploitation d'une ligne à traction électrique.

CHAPITRE I

STATION CENTRALE GÉNÉRATRICE D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

Considérations sur les unités de machine à employer. — Charge variable des stations génératrices. — Dispositions générales à employer. — — Machines à vapeur à grande et à petite vitesse. — Dynamos génératrices : couplage des machines compounds. — Rendement. — Dépôt et remise des voitures : dispositions générales.

Les stations génératrices d'énergie électrique, installées pour faire de la traction électrique, ne diffèrent pas sensiblement de celles destinées à la distribution de l'énergie électrique, appliquée à la lumière électrique. Nous indiquerons quelques particularités spéciales employées dans les stations destinées à la traction électrique.

Il y a dix ans, quand la traction électrique commençait à se développer, on employa, tout d'abord, des unités de faible puissance, même quand la puissance totale à fournir était grande : l'on fit, en cela, la même faute qui avait été commise quand l'éclairage électrique prit naissance.

C'est ainsi que, dans les premières applications de la traction électrique, l'on employa, dans les stations génératrices, des groupes unitaires de 100 à 200 chevaux ; cette dernière puissance était rarement dépassée.

Il s'en suivit qu'avec le développement intensif que prit la traction électrique ces faibles unités ne convenaient plus du tout pour le service : car dans ces stations la charge moyenne, comme l'indiquent les courbes des figures 9 et 10, était de beaucoup inférieure à la charge maxima ; ces unités fonctionnaient dans de mauvaises conditions électriques et mécaniques. Leur rendement était, en effet, assez faible

puisque la charge moyenne de chaque machine était éloignée de sa puissance maxima; au contraire, avec des unités puissantes, le rendement varie peu avec la charge; c'est ainsi que, pour un groupe de 1.500 kilowatts entre la demi-charge et la pleine charge, le rendement varie de 1 ou 2 pour cent, et ce rendement est encore excellent au dixième de la charge (*fig.* 11), puisqu'il est encore de 90 pour cent. On comprendra tout l'intérêt de cette observation en examinant les figures 9 et 10 qui représentent les variations de la charge en

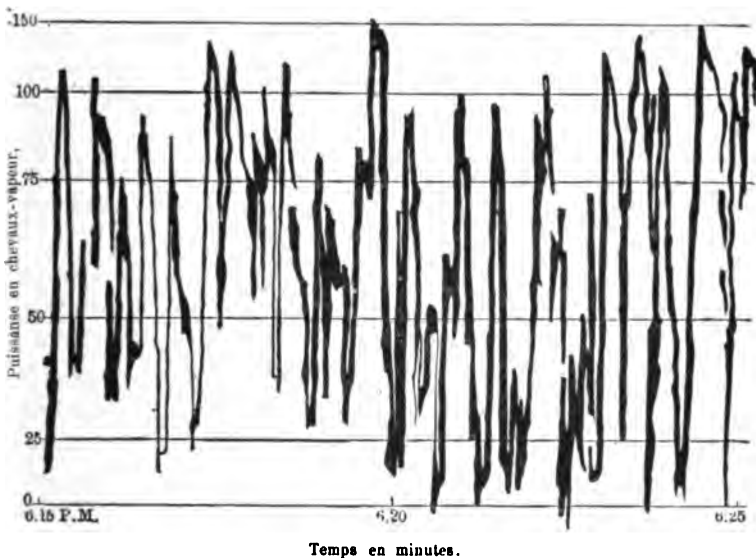


FIG. 9. — Courbe de variation de charge dans une station à trafic moyen.

fonction du trafic sur une ligne de tramway. Nous reviendrons plus loin sur ce point. De plus, dans le cas des petites unités, la commande se faisait par courroies; celles-ci étaient réglées et tendues pour la charge maxima, de sorte qu'à moyenne charge les pertes par frottements sur les coussinets étaient importantes; il en résultait un entretien coûteux occasionné par un graissage abondant et une usure rapide des organes considérés. Par suite des progrès que l'expérience fit faire, l'on arriva peu à peu à augmenter la puis-

sance des unités, et aujourd'hui on emploie couramment des groupes de 300, 500, 1.000 et même de 1.500 kilowatts.

La conséquence de l'augmentation de puissance des groupes unitaires a été que l'accouplement direct des dynamos avec leur machine à vapeur s'est de plus en plus imposé, et on a tendance, aujourd'hui, dans des groupes unitaires de grande puissance, à abandonner la commande par courroie (*fig.* 12).

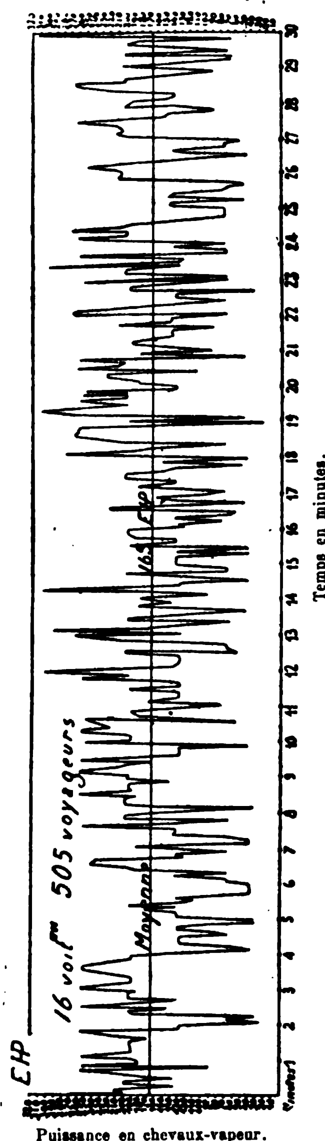


Fig. 10. — Autre courbe de variation de charge dans une station à trafic plus important : 16 voitures sur la ligne.

On trouve de grands avantages à cette disposition qui conduit à employer des machines à faible vitesse, il résulte une plus grande sécurité de l'exploitation avec ces machines tournant plus lentement (*fig.* 13). Les dépenses d'entretien, de graissage et d'usure sont diminuées dans de grandes proportions, et c'est surtout le but qu'il faut chercher à atteindre dans ce genre d'exploitation, car le prix de revient de la voiture-kilomètre dépend surtout des frais d'entretien.

Il est souvent plus avantageux de consentir à une dépense plus importante dans les frais de premier établissement,

augmentant les frais d'amortissement dans une légère proportion, qui est rapidement compensée par l'exploitation économique qui en résulte.

C'est un principe qui, à notre avis, doit constamment

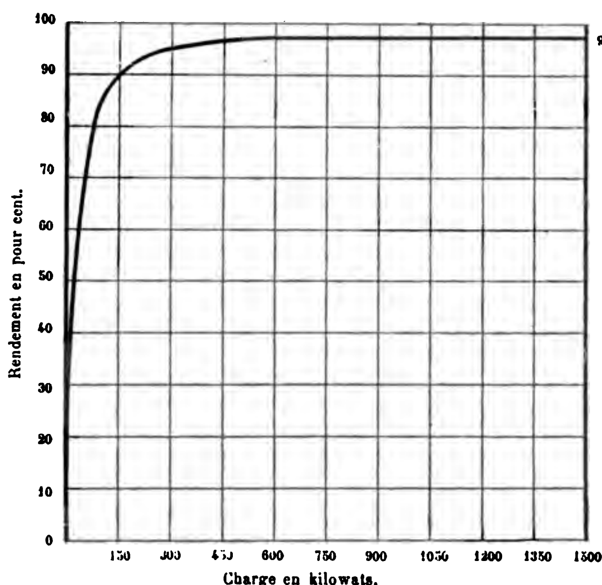


FIG. 11. — Courbe de rendement d'une dynamo génératrice de 1.500 kilowatts en fonction de la charge.

guider l'ingénieur dans l'établissement de projets destinés à la traction électrique.

Un autre avantage de la commande directe des dynamos par leur machine à vapeur est la réduction de l'encombrement du groupe unitaire : c'est un point de vue qui a son importance, car la plupart du temps, les stations génératrices sont établies dans l'intérieur des villes, où le terrain est cher.

Pour donner une idée de l'encombrement auquel on peut arriver, avec des groupes de différentes puissances, nous donnons le tableau suivant, dont les éléments ont été fournis par M. F. Parshall, pour les machines à vitesse lente. Nous avons établi la comparaison avec des machines à grande vitesse.

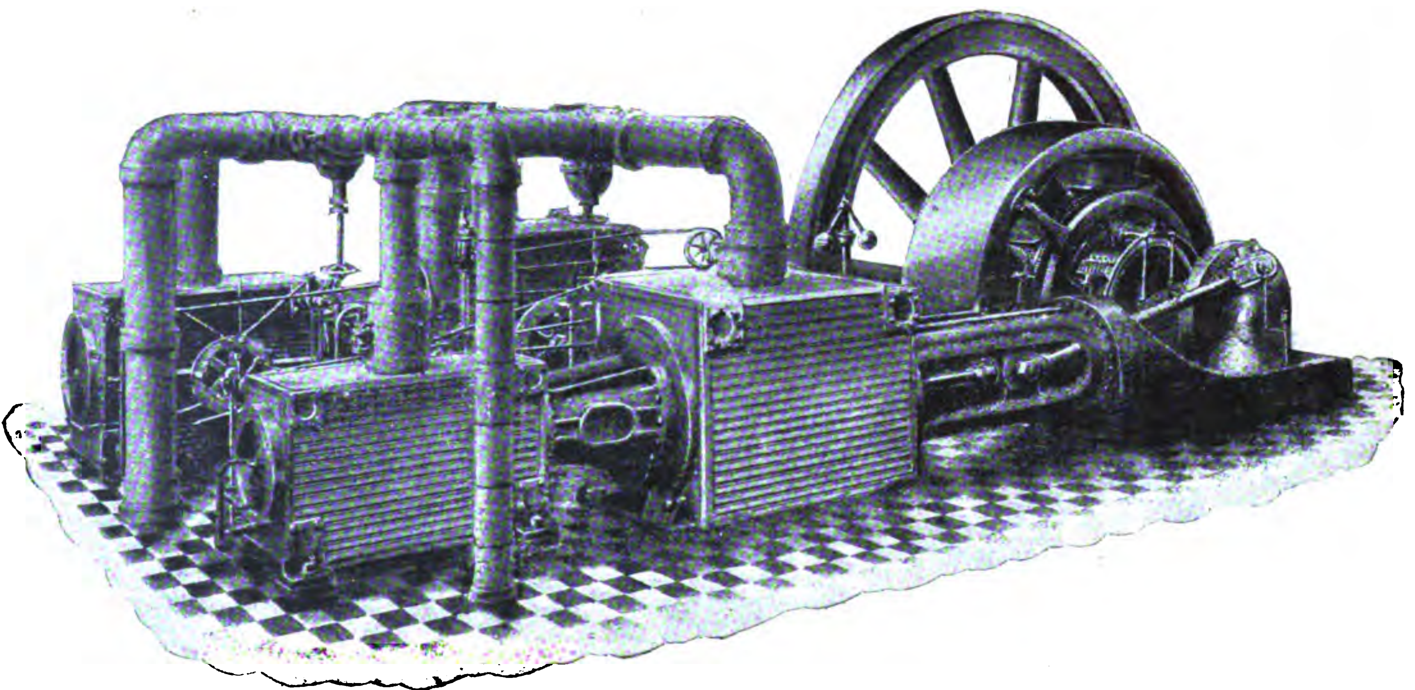


Fig. 12. — Machine à vapeur horizontale commandant directement une dynamo Walker.

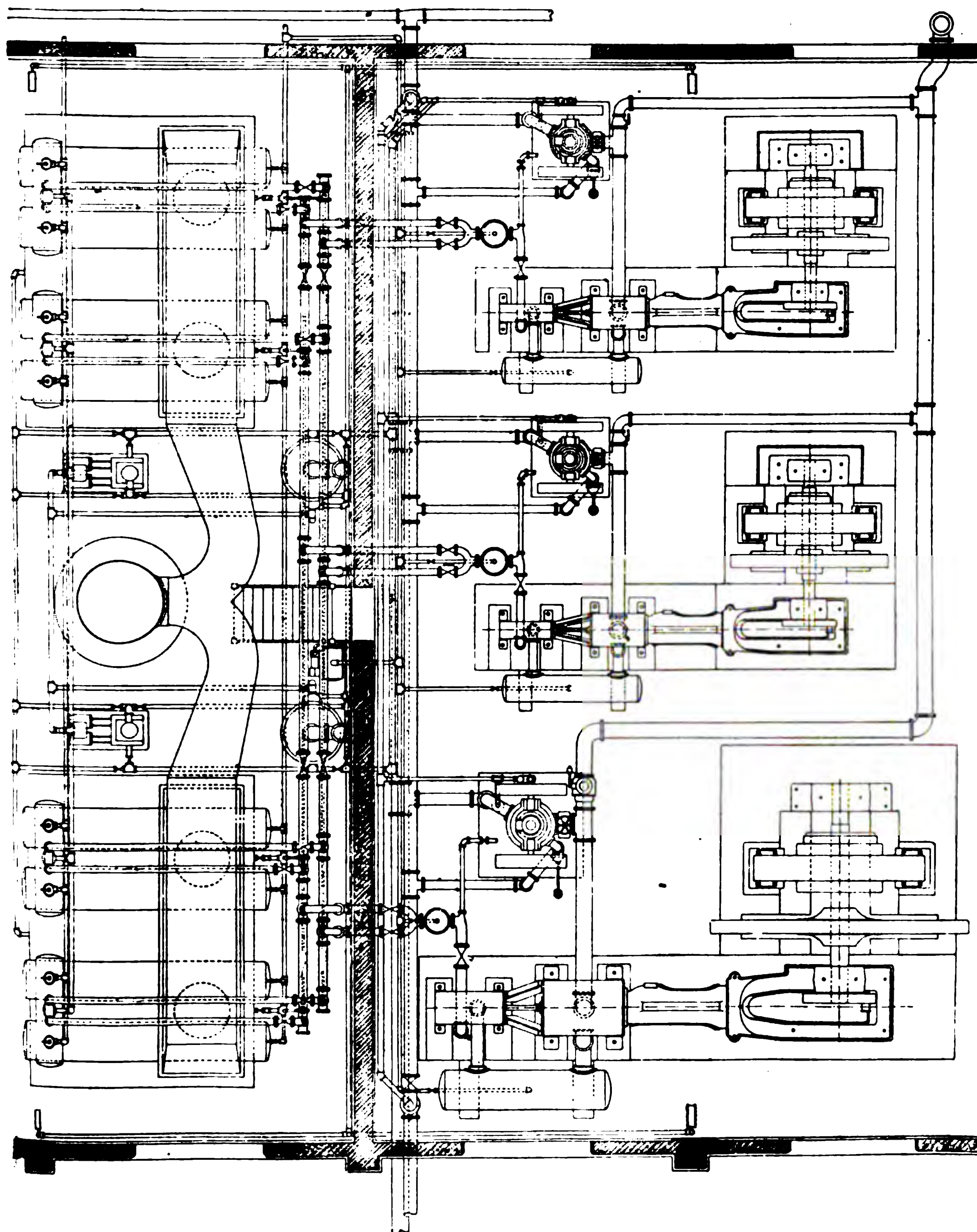


Fig. 13. — Plan d'ensemble de la station centrale de la Nouvelle-Orléans : commande directe des dynamos.

TABLEAU DONNANT L'ENCOMBREMENT ET LES POIDS PAR MÈTRE CARRÉ POUR DIFFÉRENTES PUISSANCES DE GROUPES ÉLECTROGÈNES

PUISSANCES				MACHINES A VAPEUR								DYNAMOS						
				CYLINDRE		POIDS							POIDS					
De la dynamo en kilowatts	De la machine en chevaux-vapeur	Pression de la vapeur en kilog. par cm².	Vitesse angulaire par tours à la minute	Diamètre en millimètres	Course en millimètres	Total en kilogram.	Du volant en kilogrammes	Surface occupée en m².	Poids par m².	Poids par cheval	Puissance par m² en chevaux-vapeur	Nombre de pôles	Total en kilogram.	De l'armature en kilogrammes	Surface occupée en m².	Poids par m² en kilogrammes	Poids par cheval électrique en kilog.	Puissance par m² en kilowatts
A. — Machines a vapeur compounds a vitesse lente (genre Corliss), accouplées avec la dynamo																		
225	225	8,8	120	356- 660	914	41 000	11 500	45	925	160	5,5	6	17 000	6 600	5,02	3 350	56	44,5
300	340	8,8	100	406- 762	1 097	55 000	13 500	49	1 150	160	6,1	6	27 500	9 500	7,25	3 800	68,5	41,5
400	455	8,8	100	457- 864	1 067	62 000	18 500	51	1 200	135	9,1	8	32 500	13 350	8,36	3 900	61	47,5
400	455	8,8	80	508- 965	1 067	68 000	23 000	56	1 225	150	8,1	8	34 000	14 300	9,00	3 800	63	44,5
500	567	8,8	75	508- 965	1 219	82 000	27 500	60	1 400	145	9,5	10	39 500	16 250	8,83	4 500	59	56,5
800	907	8,8	80	660-1 270	1 219	111 000	38 500	85	1 300	120	10,7	10	50 000	22 500	10,69	4 700	46,7	75
1 500	1 800	8,8	75	813-1 575	1 524	205 000	68 000	129	1 600	114	13,8	12	74 000	33 200	13,38	5 550	37,2	112
B. — Machines a vapeur compounds a grande vitesse (genre Willans), accouplées avec la dynamo																		
225	240	8,8	380	380- 600	200	7 600	»	5,50	138	30	43,6	6	12 650	3 200	5,00	2 530	40,8	45
300	360	8,8	380	480- 720	260	11 150	»	6,40	175	31	56,2	6	19 375	4 800	7,00	2 770	47,2	51,4
400	465	8,8	270	500- 770	290	16 000	»	6,90	232	34,5	67,3	8	27 890	6 970	8,00	3 485	51,6	58,2
500	575	8,8	320	520- 820	340	20 400	»	7,30	280	35,8	78,7	»	»	»	»	»	»	»
800	960	8,8	200	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
1 500	1 800	8,8	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»

On voit que, pour des groupes variant de 225 à 500 kilowatts, la puissance par mètre carré varie de 44,5 à 53,5 kilowatts et que, pour des groupes de 500 à 1.500 kilowatts, la puissance, par mètre carré, varie de 65 à 112 kilowatts.

Ce tableau fait ressortir également que la surface occupée par des groupes, dont la puissance varie de 225 à 500 kilowatts, est de 5 à 8^{m^2},83, et pour des groupes, dont la puissance varie de 500 à 1.500 kilowatts, elle est de 8,83 à 13^{m^2},38.

Enfin, ce tableau donne les poids des machines et des dynamos pour différentes puissances. C'est ainsi que le poids total d'un groupe complet de :

225 kilowatts	est de :	41.000 + 17.000 = 58.000 kilogrammes
400	—	68.000 + 34.000 = 102.000 —
800	—	111.000 + 50.000 = 161.000 —
1.500	—	205.000 + 74.000 = 279.000 —

Comme premier renseignement, on pourrait déduire, pour les machines lentes par exemple, le prix total du groupe unitaire en comptant le prix au kilogramme, pour la machine à vapeur à 1 franc, et en comptant le prix au kilogramme pour la dynamo de 1 fr. 75 à 2 francs. *Comme première approximation*, on aurait les prix suivants pour les groupes unitaires complets (machines à vapeur et dynamos accouplées) :

			Machine à vapeur	Dynamo	Groupe unitaire.
			—	—	—
Pour 225	kilowatts,	le prix serait de :	30.000 +	34.000 =	64.000 fr.
300	—	—	33.000 +	55.000 =	88.000 —
400	—	—	45.000 +	67.000 =	112.000 —
500	—	—	50.000 +	75,000 =	125.000 —
800	—	—	70.000 +	90.000 =	160.000 —
1.500	—	—	140.000 +	120.000 =	260.000 —

Situation et disposition d'ensemble d'une station génératrice. — La station génératrice devra être placée, autant que possible, au centre des lignes à alimenter, dans le cas de plusieurs lignes convergentes en un même point; ou au milieu de la ligne, si elle est unique. L'emplacement devra

être judicieusement choisi pour que l'arrivée du charbon y soit commode et que le transport ne coûte pas cher. D'une façon générale, la meilleure place sera près d'un canal ou d'une rivière navigable : le charbon et autres approvisionnements pourront arriver par eau ; de plus, l'eau nécessaire à l'alimentation des chaudières, et à la condensation de la vapeur, sera obtenue à bon marché, et sans faire de frais importants pour la capter.

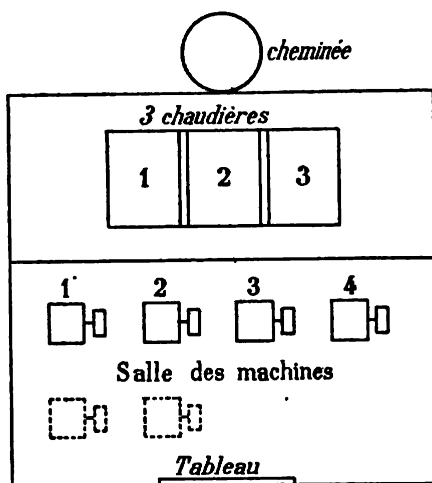


Fig. 14. — Disposition schématique d'une station génératrice de 200 kilowatts (25 voitures en circulation).

Il est difficile de donner une disposition-type pour la station génératrice : cette disposition variant avec des conditions spéciales qu'on ne peut prévoir. Cependant, à titre d'indication, nous donnons les deux dispositions schématiques (*fig.* 14 et 15) pour des stations génératrices destinées à alimenter, la première, une ligne sur laquelle circulent 25 voitures : elle est constituée par quatre groupes unitaires semblables de 50 kilowatts. La seconde, une ligne sur laquelle circulent 75 à 100 voitures : sa puissance totale est de 900 kilowatts, répartie en six groupes unitaires semblables de 150 kilowatts. Pour ce dernier cas, si l'on pré-

voyait une extension possible, il vaudrait mieux employer des groupes unitaires de 350 à 400 kilowatts.

Quelle que soit la disposition adoptée, nous appelons l'attention sur le point suivant : les groupes unitaires doivent être *semblables*, de façon à pouvoir se remplacer mutuellement, et, au besoin, dans le cas d'accident, tel organe de machine d'un groupe quelconque pourra remplacer l'organe correspondant du groupe qui a été détérioré. Aussi, conseillons-nous de n'employer que des machines à vapeur et électriques, dont les organes soient *interchangeables*.

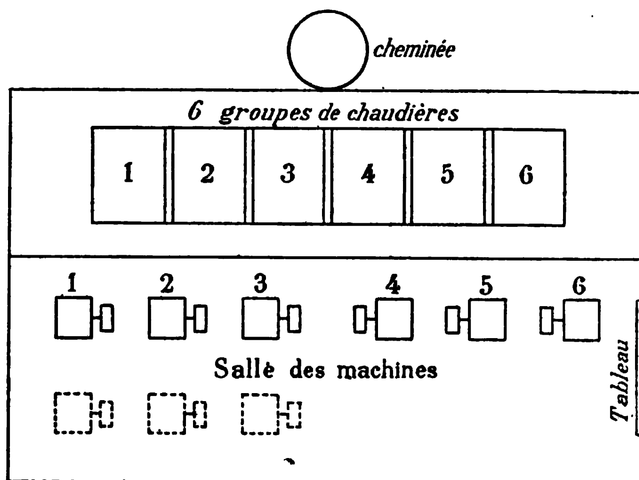


Fig. 15. — Disposition schématique d'une station génératrice de 900 kilowatts (75 à 100 voitures en circulation).

L'exploitation sera ainsi assurée dans une plus large mesure, et l'entretien sera de beaucoup diminué.

Il est entendu qu'un ou deux groupes de réserve, selon la capacité de la station, seront prévus dans l'installation. Ces groupes de réserve ne devront pas rester inertes, mais être prêts à marcher, c'est-à-dire qu'on les fera tourner lentement, de façon à réchauffer les cylindres de la machine à vapeur et, en cas d'accident fortuit, il suffira d'ouvrir en

plein la valve de vapeur, pour avoir une machine prête à être immédiatement mise en charge.

Remarque. — Nous avons vu précédemment par les courbes de charge (*fig.* 9 et 10) que le régime d'une station centrale pour traction électrique était essentiellement variable. Remarquons que cet effet se fait spécialement remarquer sur les lignes à trafic moyen. Dès que le nombre de voitures circulant sur un même réseau augmente, la courbe de charge a tendance à se régulariser, par suite de l'équilibre qui se produit : la courbe de la figure 16, qui représente la courbe des variations de charge de la station centrale de Minneapolis, donne une idée juste de ce fait.

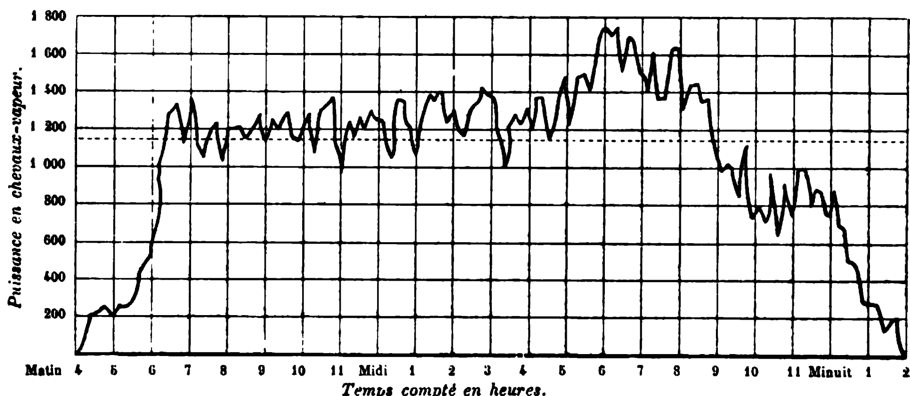


FIG. 16. — Courbe de charge de la station de Minneapolis.

On voit que, la charge maxima étant de 1.750 chevaux-vapeur, la charge moyenne, indiquée par le trait en pointillé, ressort à 1.150 chevaux-vapeur environ. Cette considération augmente encore l'intérêt qu'il y a, dans de telles stations, à n'employer que des groupes unitaires puissants, dont le rendement total est élevé.

On a proposé, pour alimenter les lignes de tramways électriques, de se servir des stations centrales existantes et faisant de l'éclairage électrique : le matériel serait ainsi mieux utilisé, car pendant la journée ces stations sont peu

chargées, et le soir, au moment où l'éclairage donne son maximum, le trafic des lignes de tramways a tendance à diminuer.

Mais cette application, à notre avis, ne peut être faite que dans le cas d'une ligne à petit et moyen trafic. Pour les lignes à grand trafic, on a intérêt à avoir une station génératrice spéciale pour les lignes de tramways.

Inversement, les stations génératrices alimentant des lignes de tramways électriques n'ont pas intérêt à faire de l'éclairage, à moins que le tarif payé soit élevé. Il est préférable que les intéressés développent leur industrie du côté de leur spécialité, plutôt que de faire deux genres d'exploitation bien différents.

Machines à vapeur, dynamos génératrices. — Nous ne parlerons pas des machines à vapeur employées en traction électrique; elles n'ont rien de particulier, si ce n'est que, par suite des variations très brusques de charge, la régulation doit être très sensible et instantanée. Les dynamos employées en traction électrique sont toutes du type multipolaire ; le nombre de pôles varie avec leur puissance. C'est ainsi, que pour une unité de 100 kilowatts, on aura 4 à 6 pôles ; pour une unité de 700 kilowatts, on aura 12 pôles.

Jusqu'à présent, on a presque exclusivement employé des machines à enroulement compound et hypercompound. Cela tient à la nécessité d'avoir une tension aussi constante que possible, malgré de brusques variations de charges, allant fréquemment de la charge nulle à la charge maxima.

En dehors de ces quelques particularités, les dynamos employées en traction électrique n'ont rien de spécial : disons cependant que l'isolation des inducteurs et de l'induit doit être particulièrement soignée.

Quoi qu'il en soit, nous appellerons l'attention sur la difficulté pratique qu'on rencontre souvent dès qu'il s'agit de coupler en parallèle deux machines compounds de puissance *inégale :* cela tient à ce que les caractéristiques des machines considérées sont trop différentes les unes des

autres : c'est là un écueil qu'un bon constructeur sait éviter. On éprouve spécialement des difficultés, pour le couplage, quand les dynamos sont faites par des constructeurs différents : cela tient à ce qu'elles ne sont pas semblables,

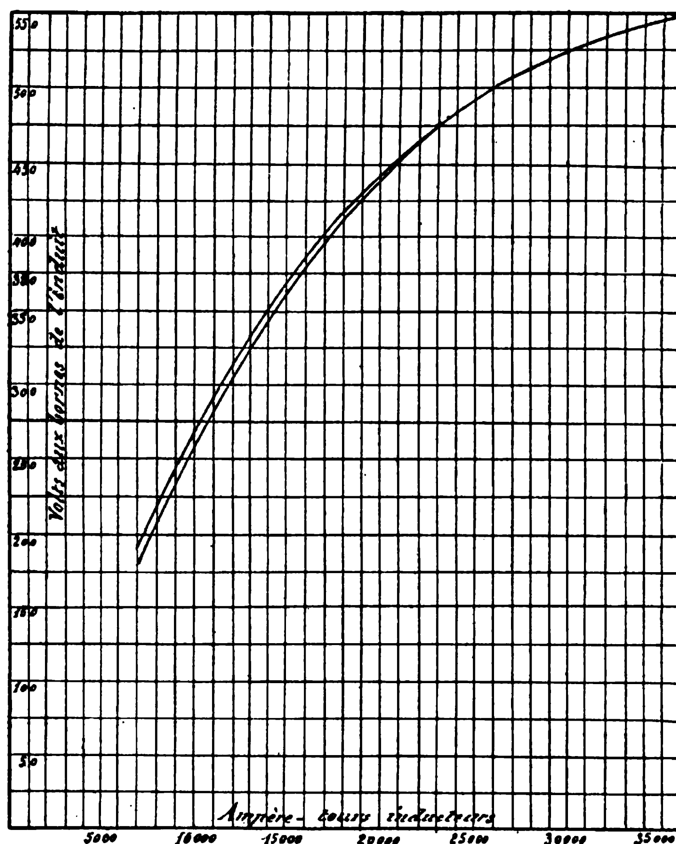


Fig. 17. — Variation du voltage en fonction de la charge de deux dynamos de 400 et 800 kilowatts, système Walker.

n'ayant pas été calculées de la même manière. Pour faire voir combien, dans des machines bien calculées, même pour des unités de puissances différentes, ces caractéristiques peuvent être semblables, nous donnons celles obtenues sur deux machines construites par la Compagnie Walker, l'une de 400 kilowatts, et l'autre de 800 kilowatts.

Comme le montrent les courbes de la figure 17, la variation de voltage est inférieure à 2 pour cent à divers régimes, pour une même charge appliquée aux deux machines. Si les machines sont bien semblables, on a l'avantage, quand elles sont couplées, que les charges se répartissent bien également sur l'une et sur l'autre. C'est là un point très important, car il permet, à un moment donné, de pouvoir supporter une augmentation de courant anormale qui, en se répartissant également, peut être mieux supportée par les deux machines. Aussi, pour toutes ces raisons, peut-on dire que presque toutes les stations génératrices construites nouvellement emploient des groupes unitaires semblables et interchangeables.

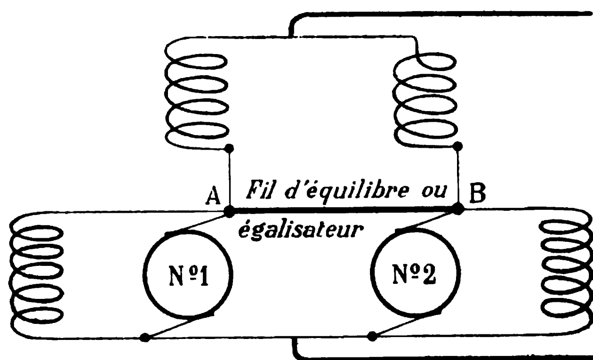


FIG. 18. — Disposition schématique du fil d'équilibre.

Quoi qu'il en soit, le couplage de deux ou plusieurs machines compounds présente souvent une difficulté pratique. Pour faciliter cette manœuvre, on réunit les deux enroulements en *séries* des machines par un fil de très faible résistance, qu'on appelle, en France, *fil d'équilibre*, et *égalisateur*, en Amérique (*fig.* 18); on évite le renversement de l'excitation, quand, sur l'une des deux machines, on augmente la charge de plus de la moitié de la charge totale. Le courant se partage alors entre les deux bobines inductrices.

La résistance électrique de l'égalisateur doit être plus

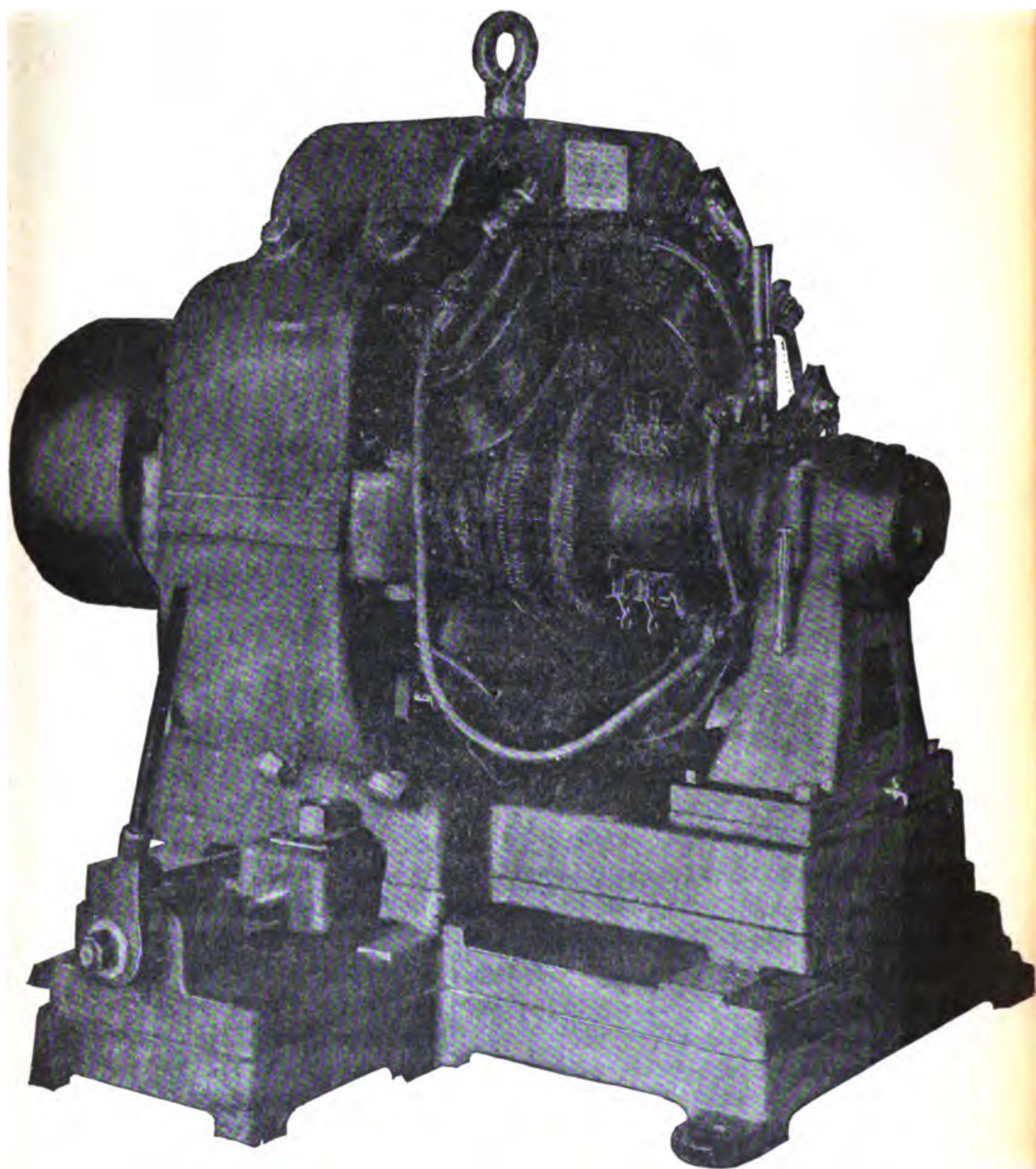


Fig. 19. — Dynamo génératrice de 100 kilowatts, système Thomson-Houston.



Fig. 20. — Dynamo génératrice de 800 kilowatts, système Thomson-Houston.

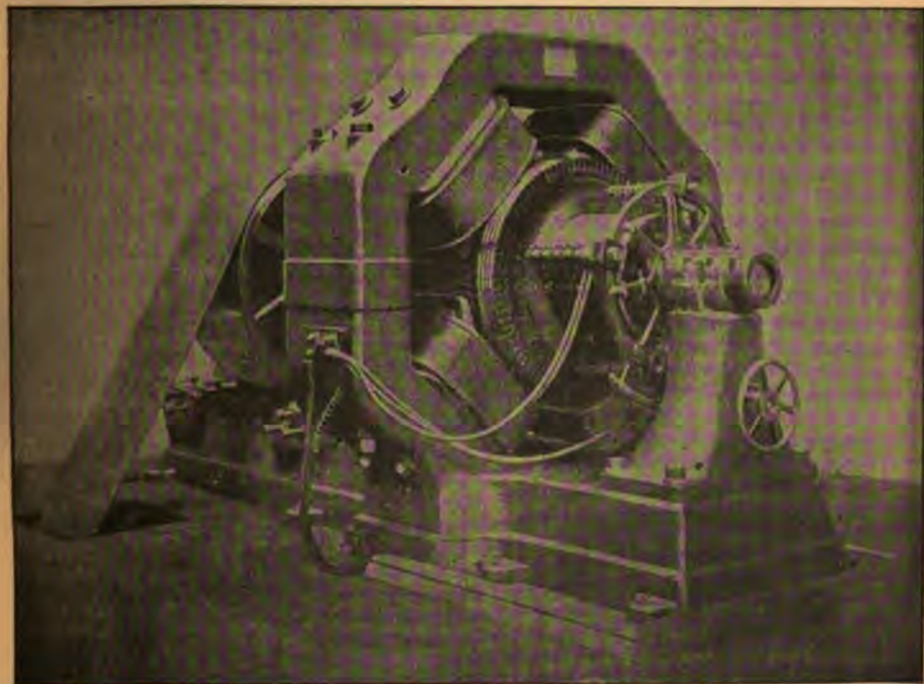


Fig. 21. — Dynamo génératrice système Thomson-Houston.

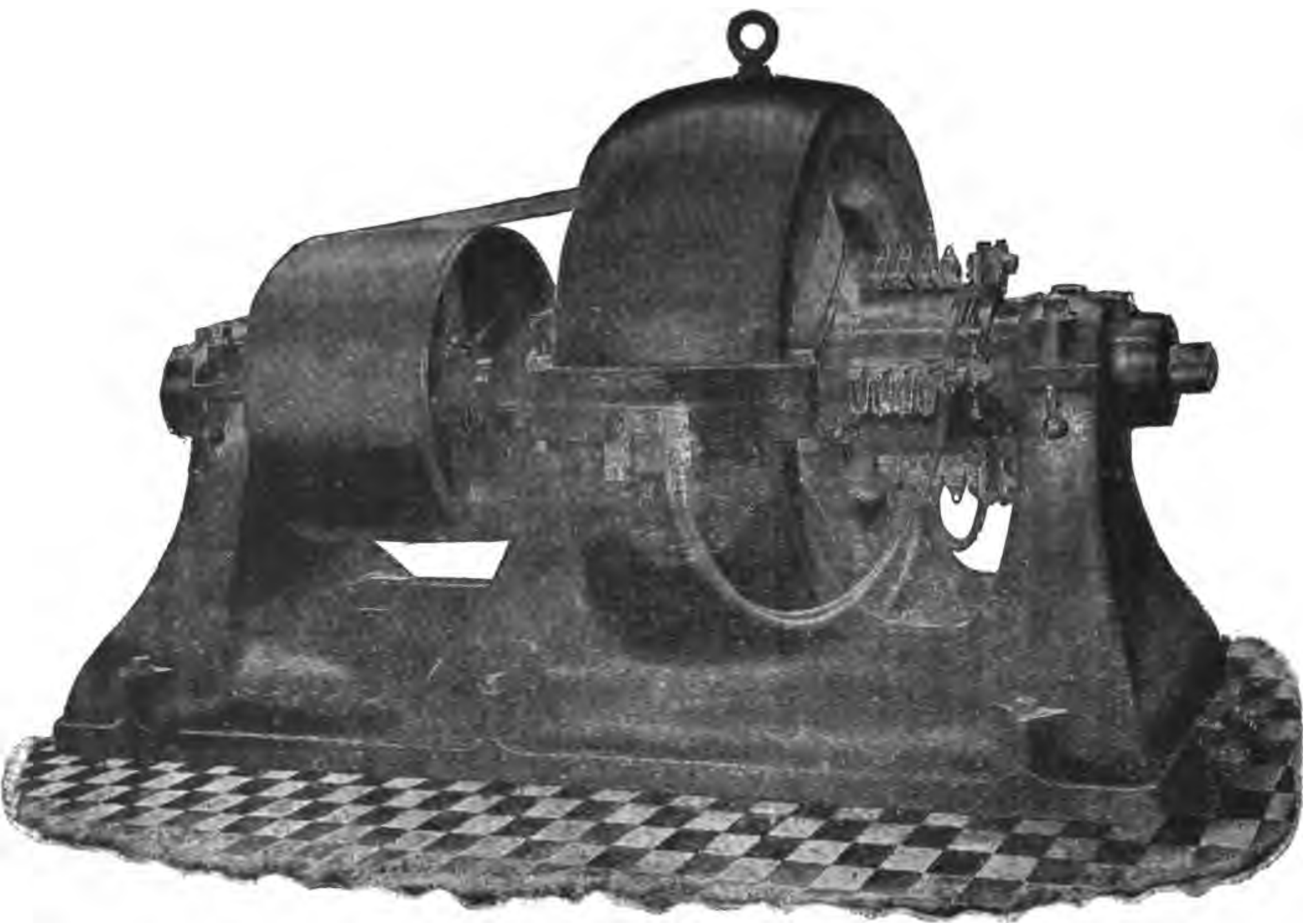
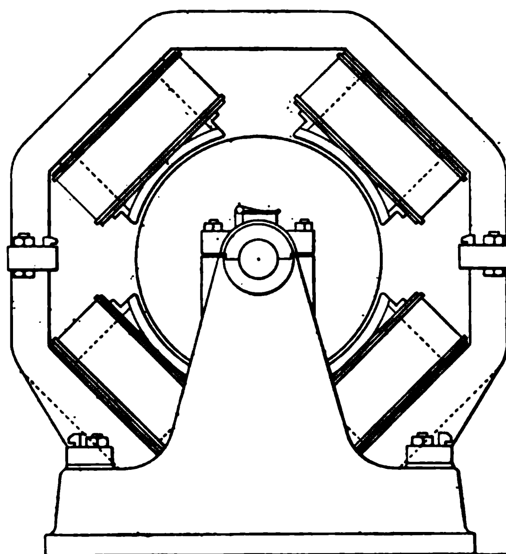
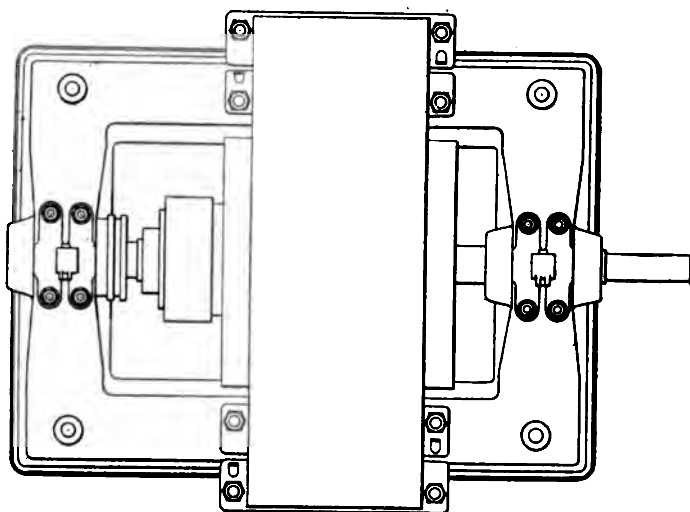


Fig. 22. — Dynamo génératrice de la Compagnie Walker.



ÉLÉVATION.



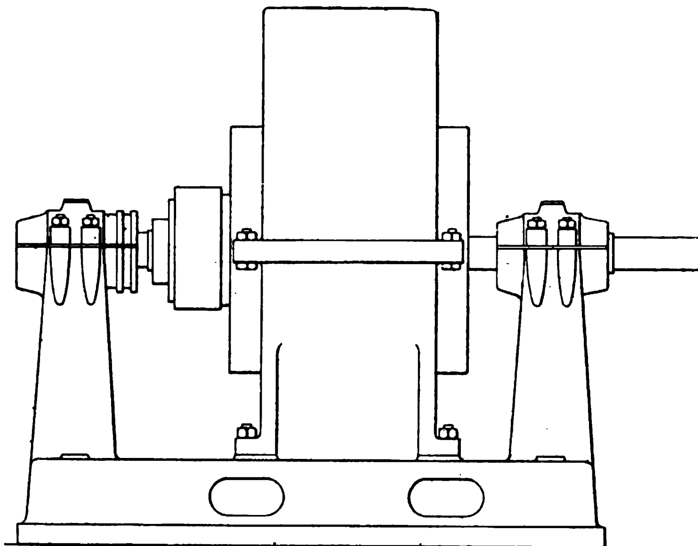
VUE EN PLAN.

Fig. 23 et 24. — Dynamo génératrice de 100 kilowatts, système Brown, Boveri et Cie.
(Construction de la Société industrielle des Moteurs électriques et à vapeur.)

faible que celle de l'enroulement en série : comme celle-ci est toujours petite, au maximum 0,01 ohm, on réunit simplement les deux points A et B par un petit câble, sans passer par le tableau de distribution.

On emploie quelquefois des machines dites hypercompounds : ce sont des machines dont les enroulements sont tels que le voltage augmente en même temps que la charge.

Ce système est surtout employé lorsqu'on veut que le



VUE EN BOUT.

Fig. 25. — Dynamo génératrice, système Brown, Boveri et Cie.

voltage reste constant en différents points plus ou moins éloignés de la station génératrice.

Nous recommandons, pour les machines dont la puissance dépasse 100 kilowatts, d'employer la disposition à trois paliers : la marche de la machine est plus assurée au point de vue mécanique; la surveillance, l'entretien et le graissage de ces machines sont diminués.

Pour terminer, disons que les inducteurs sont disposés sur une couronne, de forme polygonale, et se démontant en deux parties, pour faciliter la visite de l'induit : ce démontage se faisant généralement dans un plan horizontal, et

dans quelques cas dans un plan vertical. Nous donnons, dans les figures 19 à 25, les types de dynamos les plus employées comme génératrices.

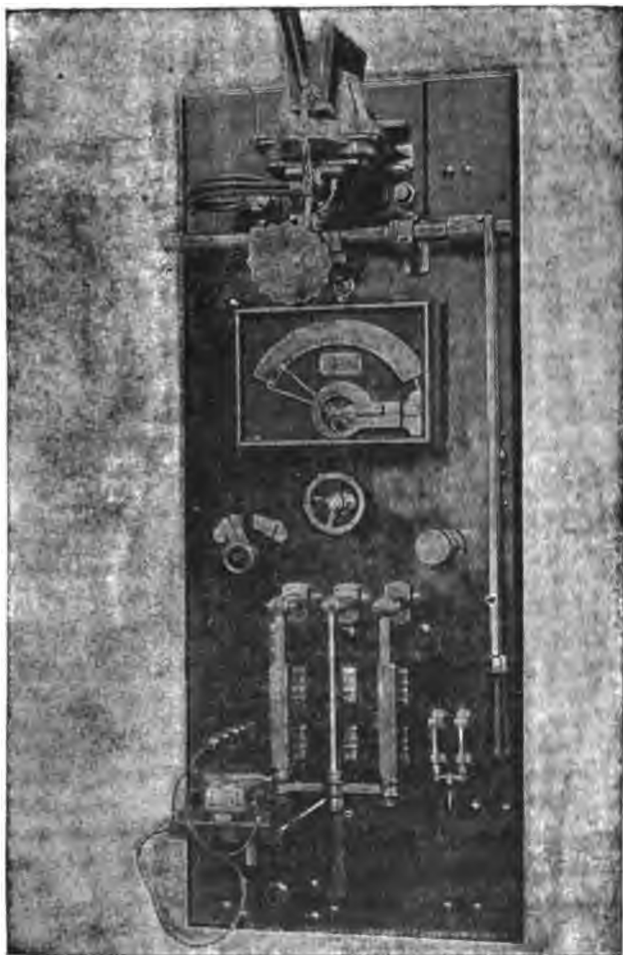


FIG. 26. — Tableau de distribution (système Thomson-Houston).

Tableaux de distribution. — Les tableaux de distribution (*fig.* 26) ne présentent rien de bien particulier; ils se composent des appareils de mesure et de sécurité ordinairement employés.

Dépôt des voitures. — Comme règle générale, il y a intérêt à avoir le dépôt des voitures électriques à côté de la station génératrice ; mais souvent, dans les villes, le prix élevé du terrain oblige à placer dans un autre endroit, à la périphérie, la remise des voitures. Quoi qu'il en soit, ce dépôt ne sera pas bien différent des dépôts actuellement employés pour remiser les voitures à chevaux.

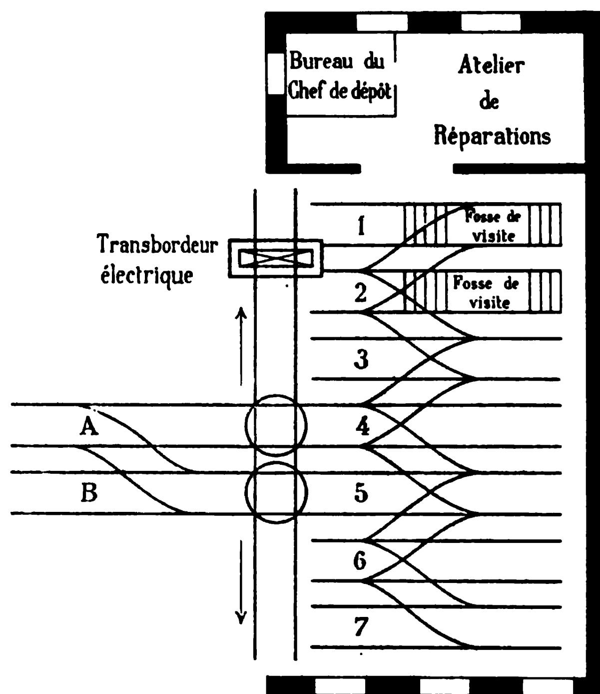
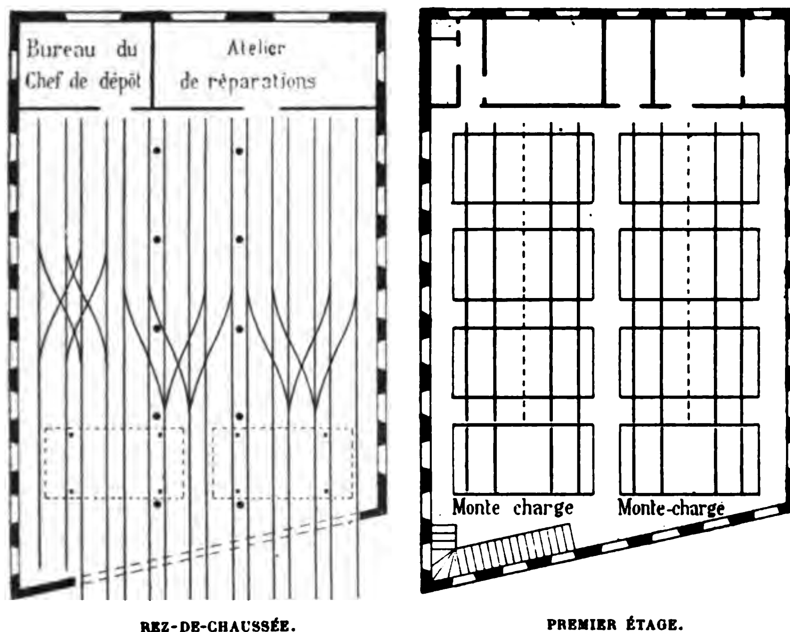


Fig. 27. — Disposition générale d'un dépôt de voitures de tramways électriques

On aura les deux voies d'arrivée et de départ A et B (*fig.* 27), et une plaque tournante correspondant à chaque voie de garage. Il est préférable d'employer un transbordeur électrique permettant de diriger une voiture quelconque sur une des voies quelconques : 1, 2, 3, ..., 7, par exemple, qui sont les voies de garage. Sur une ou deux de ces voies est disposée une fosse de visite, placée autant que possible du côté de l'atelier de réparation, pour permettre d'inspecter l'état dans lequel se

trouvent les moteurs électriques, de faire le changement des balais en charbon. Ces fosses servent également à descendre les moteurs, qui ont pu être détériorés pendant le service ; de là, ils sont transportés à l'atelier de réparation.

On doit prévoir également une plate-forme surélevée, pour permettre la visite du trolley et de sa roue : on peut faire ainsi commodément les petites réparations au trolley et faire la visite de ses organes, sans le démonter complètement.



REZ-DE-CHAUSSÉE. PREMIER ÉTAGE.

FIG. 28 ET 29. — Dépôt de voitures de tramways à étage.

Dans les grandes villes, où le terrain est cher, on fait des dépôts à étage : un monte-charge est alors installé pour monter les voitures remisées ou en réserve au premier étage, les voitures en service journalier restant au rez-de-chaussée.

Les figures 28 et 29 donnent le plan général de cette disposition.

CHAPITRE II

VOIE ET LIGNE DE TRAVAIL

A. — *Voie de roulement.* — Voie proprement dite. — Prix d'établissement. — Types de rails employés. — Conductance des rails : son importance. — Liaison électrique des rails : joint Chicago. — Résistance électrique des voies et des joints. — Pertes d'énergie aux joints des rails. — Vérification de la conductance des joints.

L'établissement de la voie comprend deux parties bien distinctes :

1° La voie proprement dite, infrastructure et superstructure : c'est ce qu'on appelle la voie de roulement;

2° La ligne, ou *fil de travail :* cette ligne peut être aérienne ou souterraine.

Nous examinerons successivement ces deux cas.

A. — Voie proprement dite

La voie proprement dite, ou voie de roulement, est constituée par des rails métalliques de différents types, placés dans les rues empruntées par la ligne de tramway.

Nous n'insisterons pas sur les différents modes d'établissement : cela sortirait de notre programme. Nous donnerons seulement quelques détails sur les prix d'établissement et sur les particularités des voies servant aux tramways électriques.

Les prix d'établissement de la voie proprement dite varient beaucoup avec les conditions dans lesquelles on se trouve. En effet, étant donnée la situation de la voie, soit sur la chaussée (dans l'axe ou sur les côtés), soit en bordure ou accotement, on emploiera tel ou tel système de rails.

Fig. 30. — Rail Broca
de 44 kilos le mètre courant.

Fig. 31. — Rail Broca.
Coupe de l'éclissage, échelle 1/2.

Fig. 32. — Voie Broca avec entretoise en fer.

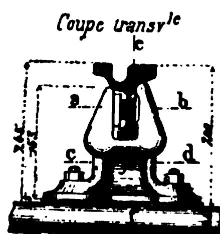


Fig. 33. — Rail Humbert de 27 kilos le mètre courant.

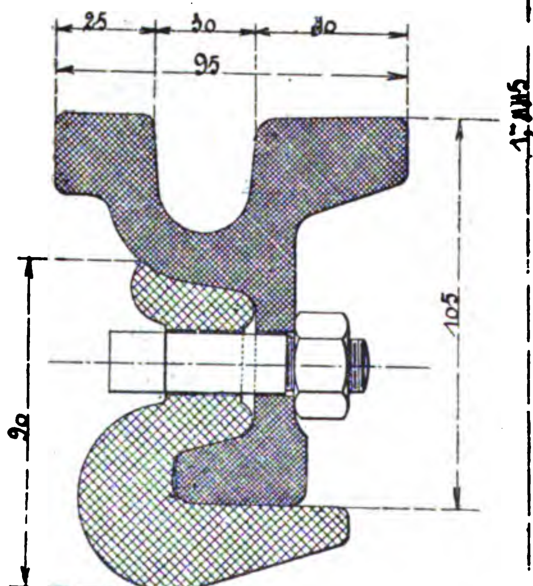


Fig. 34. — Rail Humbert. Coupe de l'éclissage, échelle 1/2.

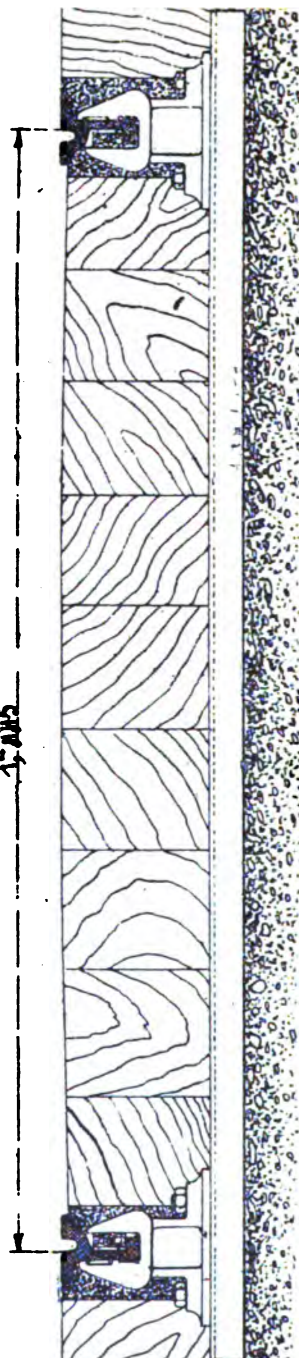


Fig. 35. — Voie Humbert.

Si l'on est au milieu de la chaussée, qui est pavée, macadamisée ou empierrée, on emploiera généralement le rail type Broca (*fig.* 30 à 32), ou le type Humbert (*fig.* 33 à 35);

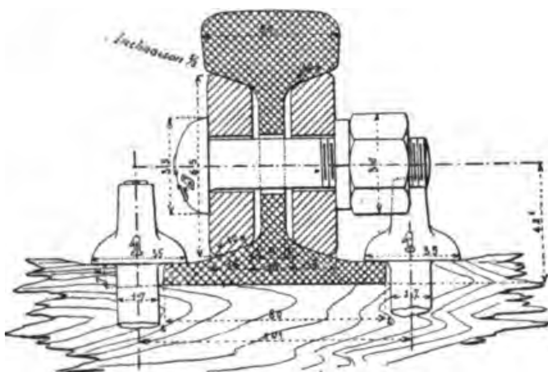


FIG. 36. — Rail Vignole de 20 kilos le mètre courant. Coupe de l'éclissage.

si, au contraire, on est en accotement ou en bordure, on pourra employer plus spécialement le type Vignole (*fig.* 36

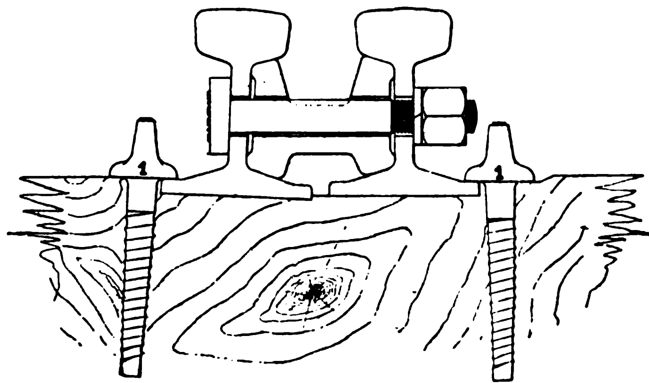


FIG. 37. — Rail Vignole avec contre-rail, pesant 80 kilos le mètre courant.

et 37). A titre de renseignements, nous donnons des prix d'établissement de voie dans les trois genres de chaussées qui peuvent se présenter dans la pratique.

PRIX D'ÉTABLISSEMENT DE VOIES POUR TRACTION ÉLECTRIQUE

TYPE N° 1. — VOIE COURANTE EN RAILS VIGNOLE

2 rails en acier de 20 kg., 40 kg. × 8 m. = 320		
2 paires d'éclisses en acier, 4 kg. la paire. 8		
	328 à 150 fr. la tonne	49f,20
8 boulons d'éclisses, de 250 gr. l'un..	2	
40 tirefonds galvanisés, 220 gr. l'un...	8,800	
	10,800 à 300 fr. la tonne	3f,24
10 traverses, à 2 fr. 50 l'une..................................		25 ,00
Ballast : 2 × 0,35 × 8 = 5m,600, à 9 fr. le mètre cube........		50 ,40
Terrassement: 2m × 0,35 × 8 = 5m,600, à 3 fr. le mètre cube.		16 ,80
Pose de la voie et coltinage, à 5 fr. 50 le mètre courant......		44 ,00
Imprévu, à raison de 2 fr. par mètre courant................		16 ,00
Ensemble pour une travée de 8 mètres		204f,64

Soit, par mètre courant : 25 fr. 58.

Si l'on ajoute à ce prix la fourniture et la pose de bordures de trottoirs, qui sont de 8 fr. 50 le mètre courant, on aura 34 fr. 08 par mètre courant de voie avec la fourniture des bordures de trottoirs.

TYPE N° 2. — AVEC CONTRE-RAILS SUR UNE CHAUSSÉE MACADAMISÉE

2 rails en acier de 20 kg. = 40 kg. × 8 = 320 kg.		
2 contre-rails acier de 15 kg. = 30 kg. × 8 = 240		
2 paires d'éclisses de 2 kg., la paire = 4		
	564 kg. à 150 fr. la tonne	84f,60
20 coussinets en fonte, de 5 kg. 460 l'un.	109kg, 200	
8 boulons d'éclisses, de 0,250 l'un	2kg, 000	
16 boulons de coussinets, de 0,300 l'un.	4kg, 800	
40 tirefonds de coussinets, de 0,140 l'un.	5kg, 600	
	121kg, 600 à 300 fr. la tonne	36f,48
10 traverses, à 2 fr. 50 l'une................................		25
Terrassement : 2m × 0,35 × 8m = 5m,600, à 3 fr. le mètre cube.		16 ,80
Pose de la voie et coltinage, à 6 fr. 50 le mètre courant.......		52
Macadam neuf : 2m × 0,20 × 8 = 3m,20, à 11 fr. 50 le mètre cube.		36 ,80
Imprévu pour dépenses supplémentaires, à 4 fr. le mètre courant.		32
Ensemble pour une travée de 8 mètres......................		283f,68

Soit, par mètre courant : 35 fr. 46.

TYPE N° 2. — AVEC CONTRE-RAILS SUR UNE CHAUSSÉE PAVÉE

2 rails en acier de 20 kg. = 40 kg. × 8 = 320 kg.		
2 contre-rails acier de 15 kg. = 30 kg. × 8 = 240		
2 paires d'éclisses de 2 kg., la paire = 4		
	564 kg. à 150 fr. la tonne	84f,60
20 coussinets en fonte, de 5 kg. 460 l'un.	109kg, 200	
8 boulons d'éclisses, de 0 kg. 250.....	2kg	
16 boulons de coussinets, de 0 kg. 300..	4kg, 800	
40 tirefonds, de 0 kg. 140 l'un.........	5kg, 600	
	121kg, 600 à 300 fr. la tonne	34f,68
10 traverses, à 2 fr. 50 l'une................................		25
Dépavage : 2m,58 × 8 = 20, à 0 fr. 20 le mètre carré		4
Terrassement : 2m,00 × 0,20 × 8 = 3m,20, à 3 fr. le mètre cube.		9,60
Pose de la voie et coltinage, à 6 fr. 50 le mètre courant........		52
Fourniture de 12 boutisses par mètre courant au croisement des points : 12 × 8 = 96, à 60 fr. le mille.................		5,76
Fourniture de sable : 2m,50 × 0,20 × 8 = 4 m³., à 7 fr. 50 le mètre cube..		30
Pavage : 2m,50 × 8 = 20 mètres carrés, à 2 fr. le mètre carré.		40
Imprévu pour dépenses supplémentaires évaluées à 4 fr. le mètre courant		32
Ensemble pour une travée de 8 mètres		319f,44

Soit, par mètre courant : 39 fr. 93.

Prix d'établissement d'un kilomètre de voie proprement dite. — Nous avons indiqué les prix unitaires d'établissement de voie proprement dite, en France ; en Amérique, M. Fairchild donne, comme dépense de premier établissement de 1 kilomètre de voie double, en alignement droit, les prix suivants :

440 rails pesant 150 tonnes, avec éclisses, coussinets et tirants	42.500 francs
2.650 traverses espacées de 75 centimètres, à 2 fr. 25 l'une	5.962 —
Fouille et pose....................................	10.600 —
Pavage en pavés de granit, dans l'entre-voie et sur 45 centimètres de chaque côté, à 18 fr. 65 le mètre carré..	89.875 —
Total..........	148.937 —

Soit, par kilomètre de voie *simple*, 74.470 francs, soit 74.500 francs en chiffres ronds.

Les statistiques américaines donnent, comme dépense de premier établissement, pour la voie proprement dite, destinée à la traction électrique pour les années 1892 et 1893, les chiffres suivants (1) :

	AU MASSACHUSETTS	EN PENSYLVANIE
Année 1892.....	60.300	100.400
Année 1893.....	76.900	126.300
Moyenne.....	65.700	113.400

Comme on le voit, le chiffre de 74.500 francs est la moyenne de ces deux chiffres; on peut donc le prendre comme base, pour une première approximation.

Le minimum constaté pour cette dépense est de 25 à 30.000 francs, ce chiffre s'appliquant à des voies établies sur chaussée *non pavée ;* on fait ainsi l'économie résultant du pavage qui, par kilomètre de voie simple, peut être évaluée de 44.000 à 45.000 francs.

Types de rails employés. — Conductance des rails : son importance.—En France, les deux types de rails employés pour tramways électriques sont : le rail type genre Broca (*fig.* 30 à 32), et le rail type genre Vignole (*fig.* 36 et 37). Le type Broca est surtout employé dans les voies pavées des villes ; le type Vignole dans les lignes extra-urbaines, surtout quand elles sont en accotement, avec voie empierrée.

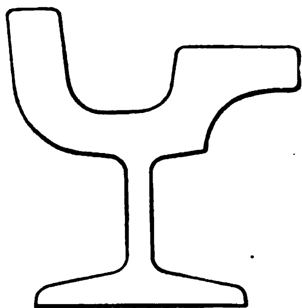


Fig. 38. — Rail américain, type à gorge.

Nous donnons, dans les figures 38 et 39, la disposition

(1) *Les Tramways en Amérique*, par Tavernier ; 1896.

du type à gorge et à gradin, types de rails employés en Amérique.

Nous ne nous arrêterons pas à déterminer les avantages et les inconvénients de chacun de ces types, mais nous attirerons l'attention sur un fait spécial. Comme le retour du courant se fait toujours par les rails, il est de toute importance de mesurer *expérimentalement* la résistance électrique spécifique des rails à employer, car, si on ne prenait pas cette précaution, indispensable à notre avis, on pourrait se

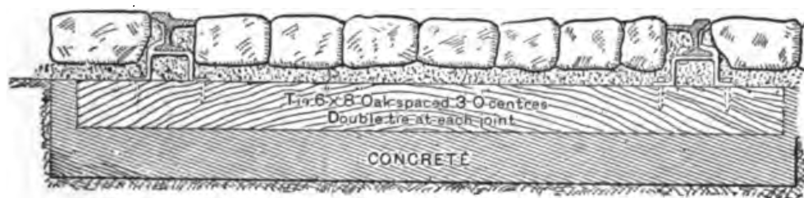


Fig. 39. — Voie américaine : Rail à gradin.

ménager des surprises désagréables : la moindre teneur en métaux étrangers pouvant faire varier cette résistance du simple au triple. Nous appelons donc, sur ce point, l'attention des constructeurs de tramways électriques et des ingénieurs qui s'occupent de ces questions, de *mentionner*, dans les marchés de rails, la résistance spécifique que la fourniture devra avoir. C'est une garantie que nous jugeons indispensable pour éviter des ennuis dans la suite, car, sans cela, on serait amené à augmenter la conductibilité des rails de retour par l'adjonction de fils de cuivre placés en terre, d'où une dépense qui peut être facilement évitée, en prenant la précaution indiquée.

Liaison électrique des rails. — Nous n'insisterons pas davantage sur l'établissement de la voie proprement dite; comme nous le disions plus haut, ce serait sortir du programme que nous nous sommes tracés. Cependant, la partie principale qui nous intéresse plus spécialement, c'est la façon dont se fait le joint électrique des rails.

Comme nous l'avons vu, le retour du courant, dans le système à trolley aérien, se fait presque toujours par les rails :

il faut donc assurer à ce circuit une *continuité électrique parfaite;* c'est là un point des plus délicats, car les troubles par électrolyse et les pertes de courant dépendent du soin avec lequel cette opération a été faite.

Pour assurer le retour du courant, on cherche à diminuer la résistance électrique que présente chaque joint de deux rails consécutifs.

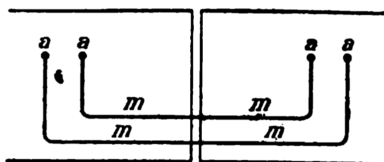


Fig. 40. — Disposition schématique de la liaison électrique de deux rails.

L'éclisse métallique qui réunit ces deux rails n'est pas suffisante pour assurer un bon contact ; pour l'assurer, on emploie le procédé suivant. On perce deux trous *aa* vers l'extrémité des deux rails à réunir, et l'on tend un fil de cuivre *mm* entre ces deux points (*fig.* 40). Pour assurer une meilleure conductibilité, on place souvent deux et même trois de ces fils les uns à côté des autres. Pour fixer ce fil, on emploie divers procédés, soit la soudure, le matage

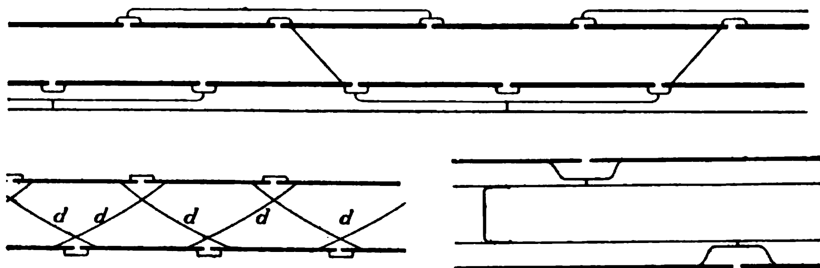


Fig. 41.

dans les trous, etc. Parmi ces procédés, l'un des plus employés est le joint « Chicago », dont nous donnons la description ci-après.

Enfin, pour compléter le circuit métallique, on réunit par un réseau transversal *dddd* les rails d'une même voie (*fig.* 41).

Fig. 42. — Disposition pratique de liaison électrique de deux rails.

Fig. 43. — Autre disposition pratique de liaison électrique de deux rails.

On peut constituer ce réseau de différentes façons; mais nous n'insisterons pas davantage, et nous donnons, dans les figures 42 et 43, la façon dont les connexions sont faites, suivant le système employé par telle ou telle Compagnie.

Joint Chicago. — Ce joint est constitué par un fil de cuivre de 8 millimètres de diamètre dont chaque extrémité est terminée par une pièce cylindrique emboutie, percée d'un trou. Le diamètre de cette pièce est plus grand que celui du trou percé dans le rail. On introduit les extrémités dans les trous d'éclisses des rails, on force dans la pièce emboutie une cheville conique en acier et on rabat les lèvres de l'ouverture : on obtient ainsi un serrage énergique, qui ne peut se modifier, et qui assure un contact électrique excellent, sur lequel les trépidations que reçoivent les rails n'ont pas d'influence. Habituellement, on emploie deux de ces joints par chaque joint de rails à réunir électriquement : la résistance électrique est pratiquement, pour ainsi dire, annulée; pour la diminuer encore, on emploie ce joint qui réunit transversalement les deux rails d'une même voie, comme nous l'avons expliqué plus haut.

Pertes d'énergie dans les joints des rails. — On comprend combien il est important de réunir électriquement les rails d'une façon aussi parfaite que possible : à chaque résistance parasitaire créée correspond une perte d'énergie électrique, et on conçoit que, si petite qu'elle soit pour un joint, la perte totale sera importante, car avec des rails ayant 10 mètres de longueur on a 400 joints par kilomètre de voie double. Il y a donc lieu d'examiner quelle importance et quel ordre de grandeur cette perte peut atteindre dans la pratique.

Résistance électrique des voies et des assemblages. — Pertes d'énergie qui en résultent. — Pour examiner l'influence de la résistance électrique de la voie et des assemblages de rails (le retour du courant se faisant par ce circuit) sur la perte d'énergie qui en résulte, nous indiquerons les chiffres donnés par M. Tighe sur

la résistance électrique des divers types de rails employés aux Etats-Unis.

POIDS DU RAIL PAR MÈTRE COURANT EN KILOGRAMMES	SECTION DU RAIL EN CM²	RÉSISTANCE PAR KILOMÈTRE EN OHMS
22 kilog.	50	0,0076
27 —	60	0,0063
32 —	70	0,00053
36 —	80	0,00047
40 —	90	0,00041

Le même auteur a vérifié la résistance des joints de rails sur douze types différents, dont les dix premiers essais (1 à 10) s'appliquent à des rails pesant 32 kilogrammes, et les deux derniers (11 et 12) à des rails pesant 40 kilogrammes au mètre courant. Nous n'avons pu rapporter ces chiffres au kilomètre, parce que nous ne savions pas quelle était la longueur des rails. Comme on le voit, la résistance électrique d'un joint de rail est assez variable, pour un même type de rail : de 0,0882 ohm à 0,0113 pour un rail pesant 32 kilogrammes au mètre courant : la perte d'énergie varie proportionnellement de 3.528 à 452 watts pour les deux circuits considérés.

RÉSISTANCES ÉLECTRIQUES DES JOINTS : PERTE D'ÉNERGIE QUI EN RÉSULTE

NUMEROS DES JOINTS	RÉSISTANCE TOTALE DU RAIL EN OHMS	RÉSISTANCE TOTALE DES JOINTS EN OHMS	RÉSISTANCE TOTALE DU CIRCUIT EN OHMS	PERTE DE POTENTIEL POUR 200 AMP. EN VOLTS	ÉNERGIE DÉPENSÉE DANS LE CIRCUIT EN WATTS
1	0,086	0,0335	0,0362	7,24	1,448
2	—	0,0671	0,0586	11,72	2,344
3	—	0,0796	0,0882	17,64	3,528
4	—	0,0398	0,0484	9,68	1,936
5	—	0,0133	0,0218	4,36	827
6	—	0,0044	0,0130	2,60	520
7	—	0,0105	0,0191	3,82	764
8	—	0,0035	0,0121	2,42	484
9	—	0,0083	0,0169	3,38	676
10	—	0,0027	0,0113	2,26	452
11	0,067	0,0335	0,0306	6,12	1,124
12	—	0,0011	0,0078	1,36	312

Nous complèterons les renseignements qui précèdent, en donnant les chiffres relatés dans une étude que M. R. Duming a faite spécialement sur cette question. Quoique les conditions dans lesquelles ces expériences furent réalisées semblent spéciales, nous donnons les chiffres qui ont été publiés [1]: ils permettront de se rendre compte de l'ordre de grandeur de cette perte d'énergie dont l'importance est mal connue.

Pour évaluer cette perte, M. Duming mesurait l'intensité et la chute de potentiel dans le joint considéré : le produit de ces deux facteurs donne l'énergie dissipée.

EXPÉRIENCES DE M. R. DUMING

NUMÉRO DE L'EXPÉRIENCE	INTENSITÉ DU COURANT en ampères : I	CHUTE DE POTENTIEL dans le joint considéré en volts : E	ÉNERGIE DISSIPÉE dans le joint en watts : W = EI	OBSERVATIONS
N° 1. Joint ordinaire..	125	0,0375	4,7	On a constaté que le joint était très chaud à la fin des essais.
	1 200	0,208	249,6	
	1 450	0,313	453,8	
N° 2. Joint ordinaire..	200	0,028	5,6	Joint très chaud.
	1 200	0,178	213,6	
	1 500	0,210	315,0	
N° 3. Joint dit plastique.	190	0,002	0,32	Joint resté froid.
	200	0,01	2,00	
	1 200	0,035	42,00	
	1 400	0,04	56,00	
N° 4.........	190	0,0043	0,83	Joint resté froid.
	400	0,0201	8,04	
	1 200	0,0638	75,36	
	1 500	0,086	129,00	
N° 5.........	190	0,0018	0,36	Joint resté froid.
	1 200	0,0428	51,36	
	1 500	0,0422	54,86	
N° 6.........	200	0,0026	0,52	Joint resté froid.
	1 000	0,038	38,00	
	1 300	0,055	72,02	
	1 500	0,066	100,52	

Il est évident que la perte d'énergie sera plus ou moins forte, selon que le joint sera fait avec plus ou moins de soin,

(1) *Electric Railway Gazette*, p. 103 ; février 1896.

et que le système employé assurera des surfaces de contact plus ou moins grandes et plus ou moins bien entretenues. Aussi est-il nécessaire de connaître dans quelles conditions ces expériences ont été faites.

Expérience n° 1. — Elle a été faite sur un joint ordinaire constitué par un fil de cuivre n° 00, de 15 centimètres de longueur, et reliant, par le patin, deux rails plats, pesant 45 kilogrammes le mètre courant : les contacts étaient nouvellement faits, propres et bien serrés.

Expérience n° 2. — Dans les mêmes conditions que celles de la première; mais on avait ajouté un fil de cuivre n° 0, d'une longueur de 75 centimètres.

Expériences n°s 3, 4, 5, 6 et 7. — Elles ont été faites avec des joints, dits plastiques, dont nous avons donné la description plus haut. Le poids seul des rails variait:

L'*expérience n°* 4 a été faite sur des rails pesant 45 kilogrammes le mètre courant ;

L'*expérience n°* 5, sur des rails pesant 32 kilogrammes ;

Et, enfin, l'*expérience n°* 6, sur des rails pesant 31 kilogrammes.

On voit que ces pertes, même si l'on suppose les chiffres indiqués trop forts de 50 pour cent, pour être optimiste, ont une grande importance. Car, si l'on prend la perte la plus faible, pour différentes intensités, en supposant 100 joints par kilomètre de voie simple, on a les pertes suivantes par kilomètre :

	PERTE PAR JOINT	SOIT MOITIÉ SEULEMENT	PERTE TOTALE
	—	—	—
Pour 200 amp....	0,52 watts	0,26 watts	26 watts
1.000 —	38 —	19 —	1.900 —
1.300 —	72 —	35 —	3.500 —
1.500 —	100 —	50 —	5.000 —

D'après ces chiffres, et même dans des conditions plus favorables que celles données au tableau précédent, on voit

que, pour des intensités dépassant 1.000 ampères, le retour par les rails ne devrait jamais être *employé*. Ces chiffres peuvent servir d'arguments pour expliquer la destruction des tuyaux d'eau et de gaz dans les réseaux américains, qui, primitivement établis pour un trafic moyen, n'ont pas été renforcés, même quand le trafic a quintuplé. Nous reviendrons plus loin sur cette question (effets électrolytiques).

Vérification de la conductance des joints des rails. — Comme conséquence de ce qui précède, il importe donc de surveiller l'importance que peuvent prendre ces pertes pour les annuler au cas échéant; de plus, les effets perturbateurs et la chute de potentiel dépendant beaucoup de la plus ou moins bonne conductance des joints des rails, il est nécessaire, dans une exploitation bien comprise, de vérifier, de temps en temps, la conductance des rails. Pour cela, nous indiquerons un procédé employé presque exclusivement en Amérique. Aux heures où le service est interrompu, on fait circuler sur la voie deux voitures A et B reliées entre elles

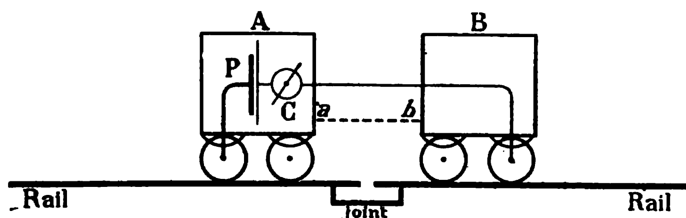


Fig. 44. — Vérification de la conductance des joints des rails.

par un attelage isolé *ab*, généralement constitué par des cordes. Entre ces deux voitures, on établit un fil de cuivre *isolé*, relié avec une pile P et un ampèremètre très sensible C. On fait circuler cet ensemble sur la voie à surveiller. Quand un joint est compris entre les deux voitures, comme l'indique la figure 44, le courant diminue, car la résistance du joint intervient : l'ampèremètre donne l'indication de cette diminution d'intensité qui permet d'évaluer la résistance supplémentaire due au joint, et dont on apprécie ainsi la plus ou moins grande résistance électrique. Si cette résis-

tance dépasse les limites prévues, on réfectionne le joint.

Avec cette méthode très simple, on ne cherche pas à mesurer d'une façon absolument précise la résistance du joint; on détermine si le joint est pratiquement bon conducteur : c'est plutôt une indication qu'une mesure, qui permet d'entretenir facilement les joints des rails et de veiller à ce que la résistance électrique totale de la voie de roulement soit toujours *minima*.

En terminant, nous insistons sur la nécessité qu'il y a, pour les Compagnies exploitantes des lignes à traction électrique, de surveiller constamment, par ce moyen commode, l'état électrique de la voie. C'est éviter des pertes d'énergie inutiles et ainsi prévenir et enrayer, autant que possible, les effets électrolytiques dus aux pertes de courant. Par ce moyen d'entretien peu coûteux, on peut éviter en partie les indemnités importantes qui résultent des dommages causés par l'électrolyse.

CHAPITRE III

LIGNE AÉRIENNE OU FIL DE TRAVAIL

B. — *Ligne aérienne, ou fil de travail.* — Description générale. — Alimentation du fil de travail par feeder, leur calcul. — Exemple. — Proportionnalité de la section des conducteurs aériens et des rails. — Fil de trolley ou fil de travail. — Résistance d'isolement du fil de travail. — Effets d'électrolyse. — Procédés proposés pour les éviter. — Etude de M. Potier. — *Règlement du Board of Trade pour prévenir les effets d'électrolyse.* — Perturbations diverses : sur les fils téléphoniques, sur les appareils de mesure. — Moyens employés pour annuler ces perturbations. — Réparation des dommages causés par les divers genres de perturbations.

C. — *Ligne souterraine.* — Ligne souterraine à caniveau. — Considérations sur le petit et le grand caniveau : caniveau circulable. — Ligne souterraine à caniveau, système Siemens et Halske. — Systèmes divers. — Coût de premier établissement du caniveau souterrain et de son équipement électrique.

La ligne, ou fil de travail, peut être *aérienne* ou *souterraine*. Nous examinerons successivement les deux cas.

B. — Ligne aérienne

1° La ligne aérienne, ou fil de travail, sert à distribuer l'énergie électrique nécessaire à la propulsion de la voiture. Elle est composée d'un fil de cuivre, de bronze phosphoreux, d'une section moyenne de 25 à 28 millimètres carrés (soit $8^{mm},5$ de diamètre). Cette ligne est supportée par des poteaux, des consoles ou des fils tendeurs. Elle est placée dans l'axe des voies de roulement. Les figures 45 à 46 donnent les trois positions principales, suivant lesquelles la ligne aérienne peut être placée. La tension employée peut varier de 300 à 500 volts : celle qui est admise le plus généralement, dans la pratique, est égale à 500 volts, car, sans présenter

DIFFÉRENTES POSITIONS DE LA VOIE DE ROULEMENT ET DE LA LIGNE AÉRIENNE

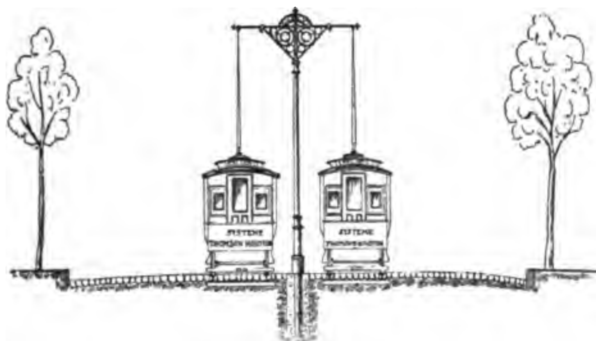


Fig. 45. — Double voie au milieu de la chaussée : poteaux à double console.

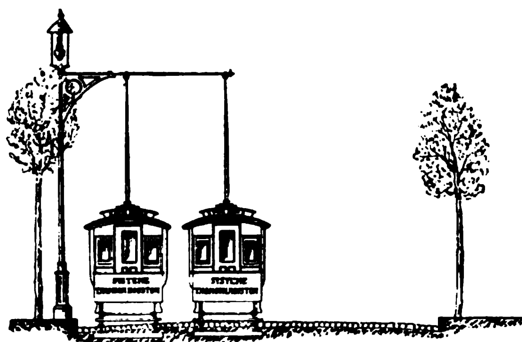


Fig. 45 *bis*. — Double voie en bordure: Poteaux à console simple.

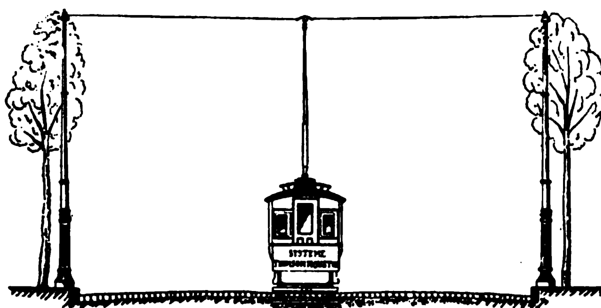


Fig. 46. — Voie unique: poteaux placés en bordure avec fil tendeur.

de danger pour la vie humaine, elle permet de faire des économies sensibles sur le cuivre de la ligne elle-même et sur le cuivre employé dans l'alimentation des feeders, quand le parcours est un peu long. De plus, cette tension moyenne de 500 volts est très propice à la bonne marche des moteurs; enfin, elle permet de réduire le prix et le poids de ces moteurs : ce qui n'est pas à négliger.

Alimentation du fil de travail. — On conçoit que, si d'un point A, où est placée la station centrale, on émet le courant à 500 volts, quand ce courant arrivera en B, distant de A de 6.000 mètres par exemple, la tension aura diminué, par suite des pertes, dues à la résistance électrique du fil de travail; et les moteurs, qui marchaient à la tension de 500 volts au départ en A, ne fonctionneront plus dans de bonnes conditions à l'arrivée en B (*fig.* 47). En effet, on ne peut

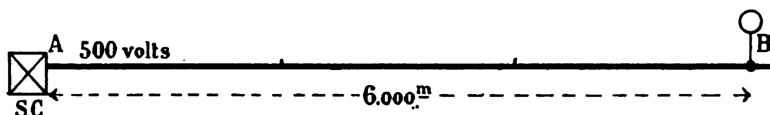


Fig. 47.

pas admettre une variation de plus de 10 pour cent aux bornes du moteur pour sa bonne marche. Il faudra donc employer le moyen dont on se sert en pratique dans la distribution de l'énergie électrique, destinée à faire de l'éclairage, par exemple, c'est-à-dire alimenter différents points du fil de travail au moyen de feeders, dont on calcule les éléments, à la façon habituelle, d'après les formules connues. Par exemple, dans le cas choisi, la portion AC du fil de travail pourra être directement alimentée par le tableau de l'usine, et les portions CD et DB par un feeder ayant son point d'attache en D, aux deux tiers de la longueur totale des 6.000 mètres.

On pourrait également alimenter par un feeder à section décroissante, AC, CD et DB, et qui serait reliée en divers points : *abcdefghi* (*fig.* 48).

La disposition à adopter en pratique, pour l'alimentation

par feeder, sera choisie selon les dispositions et le trafic que la ligne devra satisfaire : chacune de ces dispositions a ses avantages. Nous donnerons un exemple pratique de calcul de feeder d'alimentation.

Disons, enfin, que ces feeders peuvent être aérien sou souterrains : cela dépend des dispositions locales et des permissions que l'on a pu obtenir. D'une façon générale, dans les villes, on impose les feeders souterrains. Cette disposition, qui a l'avantage de ne pas alourdir l'aspect des lignes, coûte

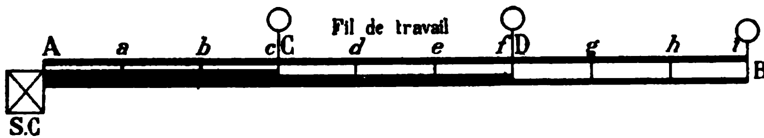


Fig. 48.

assez cher ; mais, par contre, elle est très sûre, et l'entretien en est peu coûteux.

Exemple pratique. — Pour donner un exemple de la façon dont on peut calculer les feeders nécessaires pour alimenter

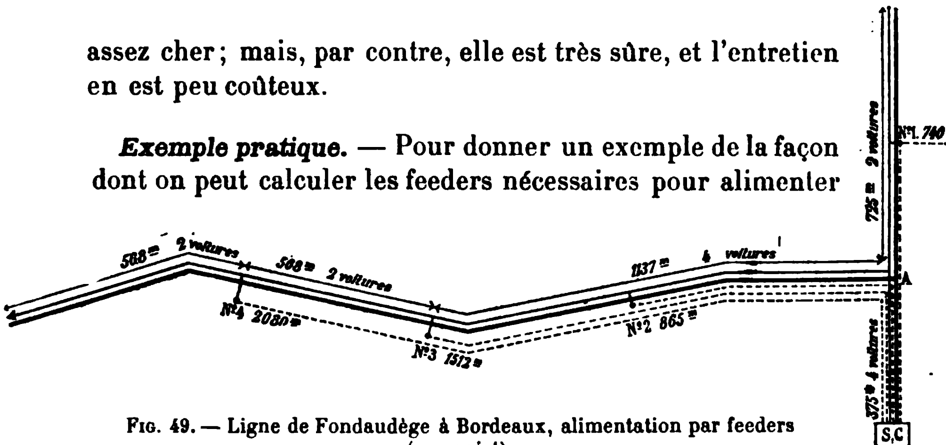


Fig. 49. — Ligne de Fondaudège à Bordeaux, alimentation par feeders (en projet).

le fil de travail, nous prendrons la ligne de Fondaudège, à Bordeaux, que nous avons eu à étudier (*fig.* 49).

L'*effort moyen* sur ce profil est de 17 kilogrammes par tonne, comme nous l'avons vu dans un précédent chapitre ; pour remorquer des voitures pesant 8 tonnes aux vitesses admises, il faudrait un moteur de 6,25 chevaux ; nous prendrons des moteurs de 11 chevaux, ce qui donne 27 ampères par voiture en circulation, la tension initiale étant de 300 volts.

Pour le calcul des feeders, nous consentirons à une perte de 10 pour cent, soit 30 volts.

Pour le feeder n° 1,	l'on a	740	mètres et	2	voitures,	soit	54	amp.
— 2	—	845	—	4	—	—	108	—
— 3	—	1.512	—	4	—	—	108	—
— 4	—	2.880	—	2	—	—	54	—

Feeder n° 1,	section nécessaire :	55	millim. carrés ;	prix :	4.220	fr.
— 2	—	90	—	—	8.200	—
— 3	—	140	—	—	17.880	—
— 4	—	210	—	—	25.000	—
	Prix total en câbles armés souterrains.....				55.300	fr.

Chaque extrémité de feeder est reliée à la ligne de travail et l'alimente ainsi. En ce point, il est bon de disposer un interrupteur et un coupe-circuit qui permet d'isoler telle portion de la ligne de travail, soit pour faire une réparation ou localiser un défaut d'isolation.

On pourrait n'établir qu'un seul feeder, au lieu de quatre : sa section serait alors le total des feeders partiels. On aurait ainsi un feeder unique qui, entre les points 4 et 3, aurait $210^{mm^2}.00$ de section ; entre 3 et 2 : $210 + 140 = 350^{mm^2},00$ de section ; entre 2 et 1 : $210 + 140 + 90 = 440^{mm^2},00$ de section ; entre A et la station centrale : $210 + 140 + 90 + 55 = 490^{mm^2},00$ de section.

Remarquons cependant que cette façon de faire est moins avantageuse que la précédente, car on ne peut plus régler la tension de chaque point terminus du feeder comme précédemment : cette disposition aurait l'avantage de coûter un peu moins cher, environ 15 pour cent en moins.

Si l'on adoptait cette disposition, au lieu de réunir le fil de travail une seule fois à chaque feeder, il serait préférable, tous les 10 mètres par exemple, de réunir ce fil au feeder général (*fig.* 48). En pratique, cette disposition est assez employée, car la première exige à l'usine des rhéostats de réglage qui deviennent inutiles dans ce cas. Remarquons qu'avec cette dernière disposition le voltage ne sera pas aussi constant

qu'avec celle où l'on emploie des feeders séparés: le voltage dans ce cas pouvant être réglé au moyen de fils pilotes ou de contrôle, comme cela se fait sur les feeders, dans les distributions d'éclairage électrique.

On voit, par ce qui précède, que la section des feeders dépend de l'importance du trafic de la ligne. La ligne de retour, constituée généralement par les rails, devra donc être aussi proportionnée à l'importance des feeders; il en résulte que l'on ne devra pas employer, pour un trafic simple et un trafic quadruple, par exemple, des rails de même section : c'est la détermination de cette proportionnalité que nous allons étudier.

Proportionnalité de la section des rails et des conducteurs aériens. — Jusqu'à présent, on s'est peu occupé, dans l'établissement des voies pour tramways électriques *avec retour par les rails*, de proportionner les sections de la voie aérienne et celles de la voie de retour, c'est-à-dire celles des rails.

On prenait, comme résistance spécifique électrique des rails, un chiffre environ 8 fois plus fort que celui appliqué à la résistance spécifique du cuivre; c'est déjà là une première erreur, car les métaux qu'on introduit pendant la fonte de l'acier changent la valeur de ce chiffre qui s'applique *au fer pur*. Cette erreur s'accentue encore si l'on se rappelle que tous les rails fabriqués maintenant sont en *acier* et que, de plus, pour donner au métal des qualités spéciales, on introduit dans ces aciers des métaux étrangers : c'est ainsi que M. Le Chatelier a démontré, par des mesures très précises, qu'une très faible proportion de manganèse peut doubler la résistance spécifique de l'acier considéré.

La vérification de la résistance spécifique électrique des aciers, employés pour rails, s'impose donc par des mesures *directes* faites sur des échantillons prélevés sur les rails à employer. Nous avons, du reste, déjà appelé plus haut l'attention sur l'importance de la mesure de la résistance électrique des rails.

Nous allons déterminer quelle section il convient de

donner aux rails de retour pour un trafic donné : ce calcul a été donné pour la première fois par M. Blondel [1].

Admettons une perte de 10 pour cent dans les feeders, avec une tension initiale de 500 volts : on aura 50 volts de perte, auxquels il faut ajouter la variation de potentiel admise sur la ligne de retour et que l'on fixe, en moyenne, en France, à 5 volts (7 volts, en Angleterre). On a donc une perte totale de 55 volts : ce qui nous conduit à dire que la perte due aux rails sera dix fois moins forte que celle admise sur la ligne aérienne.

Appelons : r', cette résistance ; et r, celle du cuivre employé dans la ligne aérienne.

Appelons : d, la distance du point d'attache d'un feeder d'alimentation de la ligne aérienne à la station centrale, et S sa section ; d', la distance du point d'attache d'un feeder de retour par les rails, et S′ sa section.

Soit N le nombre des voitures par unité de longueur, chacune d'elle absorbant I ampères.

Sur la ligne aérienne, ou fil de travail, la chute de potentiel sera :

$$r\mathrm{NI}\,\frac{d^2}{4\mathrm{S}}$$

et sur les rails on a une même chute égale à :

$$r'\mathrm{NI}\,\frac{d'^2}{4\mathrm{S}'}.$$

Comme cette chute doit être 10 fois plus petite que la précédente, on aura l'inégalité :

$$r'\mathrm{NI}\,\frac{d'^2}{4\mathrm{S}'} < \frac{1}{10}\cdot r\mathrm{NI}\,\frac{d^2}{4\mathrm{S}}$$

en simplifiant et en remarquant que, pour des *rails en fer*, on a $\frac{r'}{r} = 8$, l'inégalité précédente devient :

$$\frac{d'^2}{\mathrm{S}'} < \frac{1}{80}\,\frac{d^2}{\mathrm{S}}.$$

(1) *Lumière électrique* ; 1896.

En pratique, les rails n'étant pas continus, il faut corriger la résistance totale en la multipliant par un facteur à déterminer : k.

On aura la relation :

$$(1) \qquad \frac{d^2}{S'} < \frac{1}{80.k.}\,\frac{d'^2}{S}.$$

Cette expression peut se mettre sous une forme plus simple, en remarquant qu'on peut remplacer la section S′ des rails par le poids d'une barre de 1 mètre de longueur et de 1 millimètre carré, qui pèse pour du fer 7gr,8 ; soit p le poids en kilogrammes du mètre d'un rail, on a :

$$S' = \frac{2p}{0{,}0078}$$

et en remplaçant S′, dans l'expression (1), par cette valeur, on a la relation simple :

$$\frac{d^2}{p} < 3{,}21\,\frac{d'^2}{k.S.}$$

ou :

$$(2) \qquad \left(\frac{d'}{d}\right)^2 < 3{,}21 \times \frac{p}{kS}.$$

Le facteur k peut être pris, en moyenne, égal de 1,5 à 2 ; on voit donc, si l'on emploie des feeders également espacés, que la section S du feeder et du conducteur aérien correspondant sera, avec des rails de 40 kilogrammes au mètre courant, de 85 millimètres carrés, par voie simple, et, avec des rails de 50 kilogrammes au mètre courant, de 106 millimètres carrés.

La formule (2) permet donc de proportionner la section à donner aux rails avec celle que l'on donne au fil de travail et aux feeders.

Remarquons que, si l'on fait $d = d'$, on a :

$$1 < 3{,}21 \times \frac{p}{kS.}$$

ou :

$$p > \frac{kS}{3{,}21}, \qquad \text{ou:} \qquad p > \frac{1{,}5 \times S}{3{,}21}, \qquad p > 0{,}46 \times S.\,;$$

ce qui permet, connaissant la section S, de calculer le poids p, exprimé en kilogrammes, des rails à employer, et inversement.

Nous allons examiner maintenant ce qui concerne le *fil de travail* proprement dit, et les accessoires qui s'y rapportent.

Fil de travail, ou fil de trolley. — Au début de la traction électrique, on employa un double tube (*fig.* 49 *bis*), à l'intérieur duquel se déplaçait une navette de forme spéciale (voir *fig.* 166), et qui était tirée au moyen d'une cordelette fixée sur la toiture du tramway.

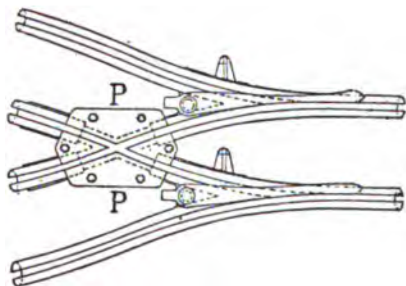


Fig. 49 *bis*. — Disposition du double tube à un croisement.

Ce double tube, d'un effet peu gracieux, avait l'avantage d'éviter le retour du courant par les rails; mais ce système présentait une grande complication, surtout au croisement (*fig.* 49 *bis*). La figure 50 représente les connexions électriques des deux tubes à une aiguille.

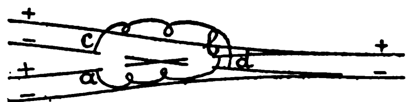


Fig. 50. — Schéma des connexions électriques à un croisement.

Ce système fut étudié par la maison Siemens, et c'est ainsi qu'elle installa le tramway de Francfort à Offenbach.

Plus tard, on simplifia, en supprimant le double tube et en employant un tube simple : le retour se faisait alors

par les rails. C'est ainsi qu'est installé le tramway électrique de Royat à Clermont-Ferrand (*fig.* 51).

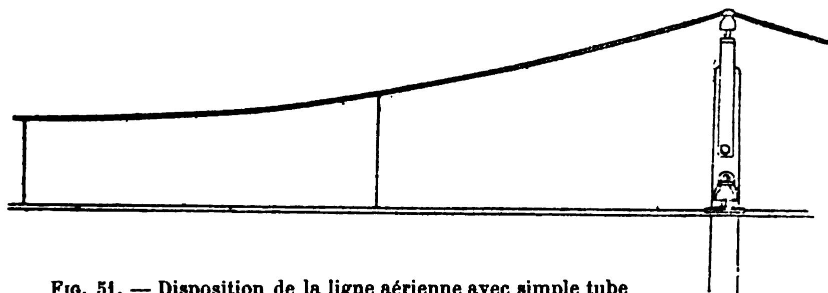


Fig. 51. — Disposition de la ligne aérienne avec simple tube (Royat à Clermont-Ferrand).

Ce dispositif est *complètement* abandonné aujourd'hui, car il présentait l'inconvénient d'exiger des supports très robustes, à cause des efforts de traction obliques auxquels sont soumis les tubes de la part du frotteur ; les croisements présentaient une grande complication ; enfin, ce système coûtait cher à installer et était fort disgracieux. Aussi, aujourd'hui emploie-t-on uniquement, comme fil de trolley

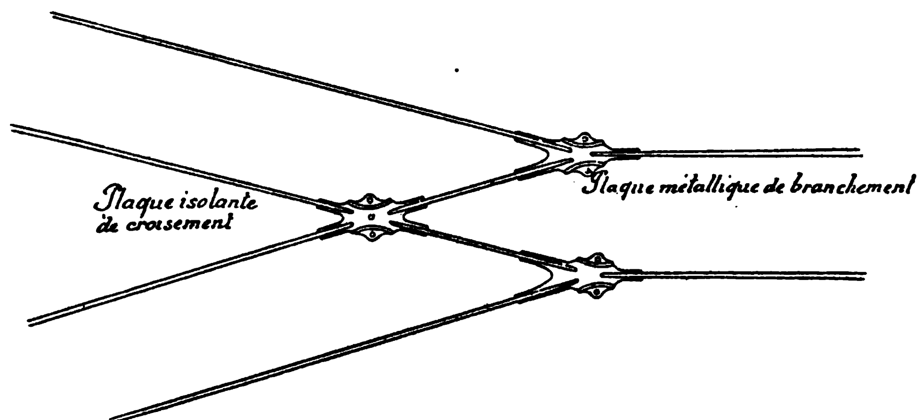


Fig. 52. — Disposition du double fil de trolley de MM. Depœle et Sprague à un croisement.

aérien, un fil de cuivre ou, mieux, de bronze phosphoreux de 8mm,5 de diamètre, comme nous l'avons vu précédemment. Ce fil est alimenté par des feeders, convenablement calculés,

et, pour augmenter la sécurité, la longueur du fil de travail est sectionnée, chaque section étant isolée électriquement. Le retour se fait par les rails. Ce dispositif a été proposé pour la première fois par Van Depœle, qui employa d'abord deux

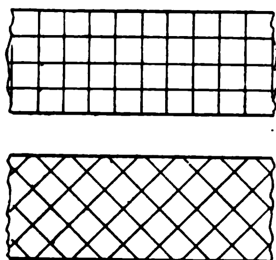


Fig. 53. — Fil de travail en forme de résille, proposé par M. Ferranti.

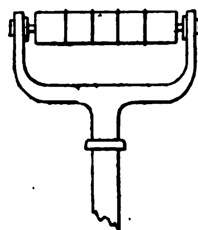


Fig. 54. — Trolley correspondant.

fils de trolley et un double trolley : le retour se faisant par le second fil (*fig.* 52).

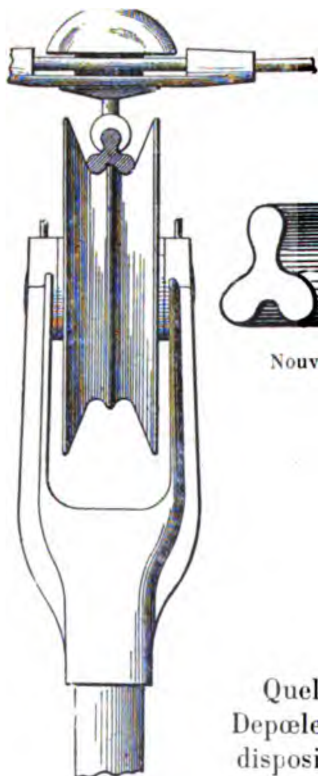
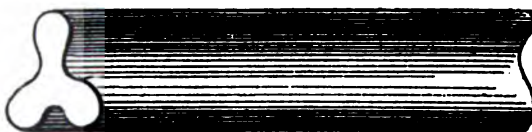
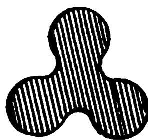


Fig. 55. — Trolley correspondant au fil de travail.



Nouveau fil de travail employé en Amérique.



Section du fil.

Quelques années plus tard, MM. Van Depœle et Sprague simplifièrent cette disposition, en supprimant un fil, le



FIG. 56. — Ligne aérienne avec poteaux à double console dans l'entre-voie.
TRAMWAYS ÉLECTRIQUES DE MILAN (SYSTÈME THOMSON-HOUSTON).



Fig. 57. — Ligne aérienne avec fils tendeurs et rosaces scellées aux maisons riveraines.
TRAMWAYS ÉLECTRIQUES DE MILAN (SYSTÈME THOMSON-HOUSTON).

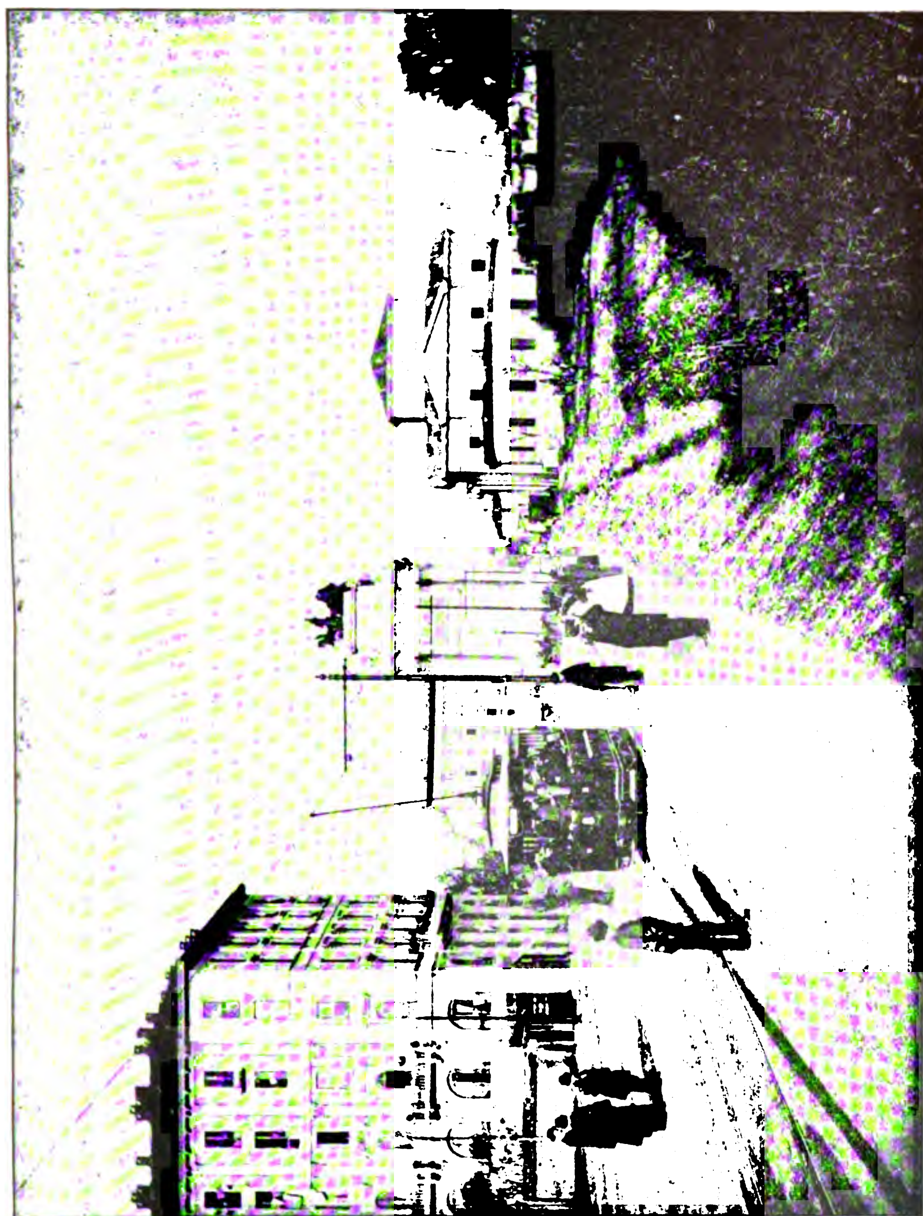


FIG. 57 *bis* — Ligne avec poteaux à console, en bordure.

retour se faisant par la voie : c'est ce dispositif qui aujourd'hui est adopté par tous les constructeurs. Le principal inconvénient que l'on reproche au fil de trolley aérien est d'être disgracieux ; pour y obvier, M. de Ferranti a proposé de constituer le fil de travail par un ensemble de fils très fins, formant une résille, comme l'indique la figure 53 ; le trolley aurait la forme d'un rouleau (*fig.* 54). La ténuité des fils ferait qu'ils seraient invisibles ; aucune application de ce système n'a été faite.

En Amérique on emploie un fil de travail dont la section est celle de la figure 55, il a l'avantage de donner une surface de contact plus grande que le fil ordinaire.

Disons, en passant, que c'est également Van Depœle qui imagina le trolley à roulette tel qu'il existe actuellement.

Poteaux métalliques. — Comme nous l'avons dit, le fil de trolley, ou fil de travail, est supporté, dans l'axe de la voie, par des câbles tendeurs en acier qui généralement sont attachés à des poteaux métalliques, placés le long des trottoirs ou à des rosaces, scellées aux maisons riveraines.

Quelquefois, dans les rues larges principalement, ce sont les poteaux qui supportent directement le fil de travail.

Nous donnons, dans les figures 56 à 57 *bis*, les trois dispositions employées et appliquées aux tramways électriques de Milan.

Les poteaux métalliques généralement employés sont composés de tubes en acier, à section décroissante (*fig.* 58). Pour des efforts de traction horizontaux importants, on est conduit à employer des poteaux très lourds et par conséquent coûteux : le poteau à base carrée, système O. André (*fig.* 60 et 61), est dans de meilleures conditions, à poids égal, au point de vue de la résistance mécanique : les figures 62 et 63 donnent la disposition de ce poteau, composé de quatre cornières frettées à chaud sur des contre-frettes. C'est ainsi que ce système de poteau a été employé à Lyon (ligne de Saint-Fons (*fig.* 64 et 65). Les deux types de poteaux métalliques les plus employés sont des poteaux de 9 mètres de hauteur totale, dont $7^{m},20$ hors terre, le fil de travail étant

à $6^m,50$ du sol, au point le plus bas : ces poteaux répondent aux spécifications suivantes :

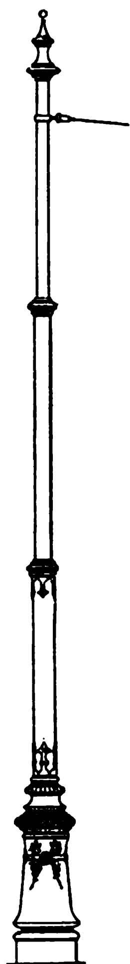


Fig. 58. — Poteau-tube à section décroissante.

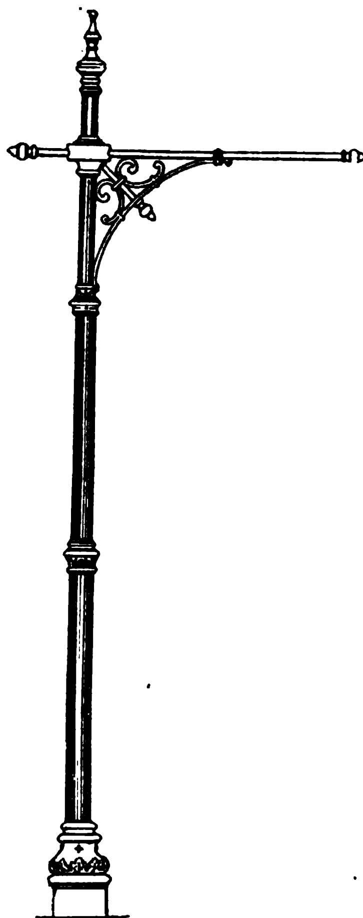


Fig. 59. — Poteau-tube avec console.

1° Effort horizontal : 250 kilogrammes au sommet, avec une flèche de 120 millimètres ;

2° Effort horizontal : 650 kilogrammes au sommet, avec une flèche de 120 millimètres.

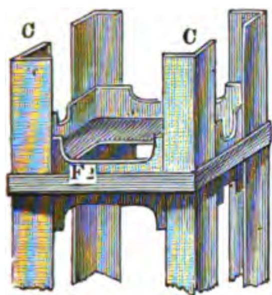


Fig. 60. — Principe du poteau à section carrée, syst. O. André.

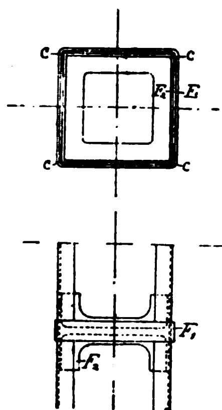


Fig. 61.

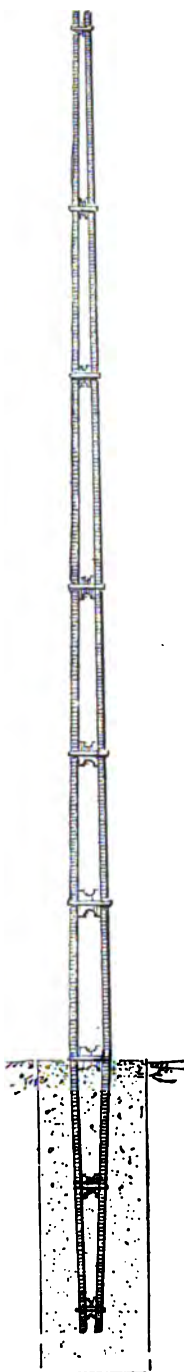


Fig. 62. — Poteau à section carrée, non orné (type Roubaix-Tourcoing et Lyon) système O. André.

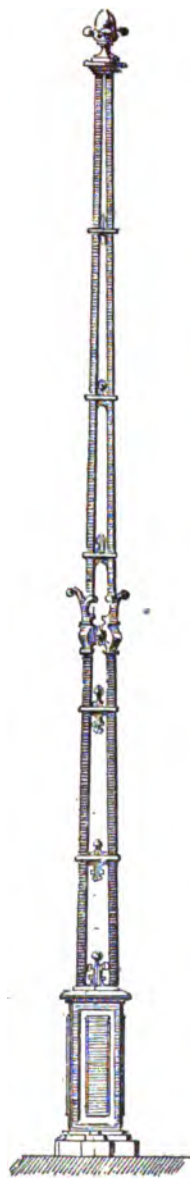


Fig. 63. — Poteau orné, à section carrée, système O. André.

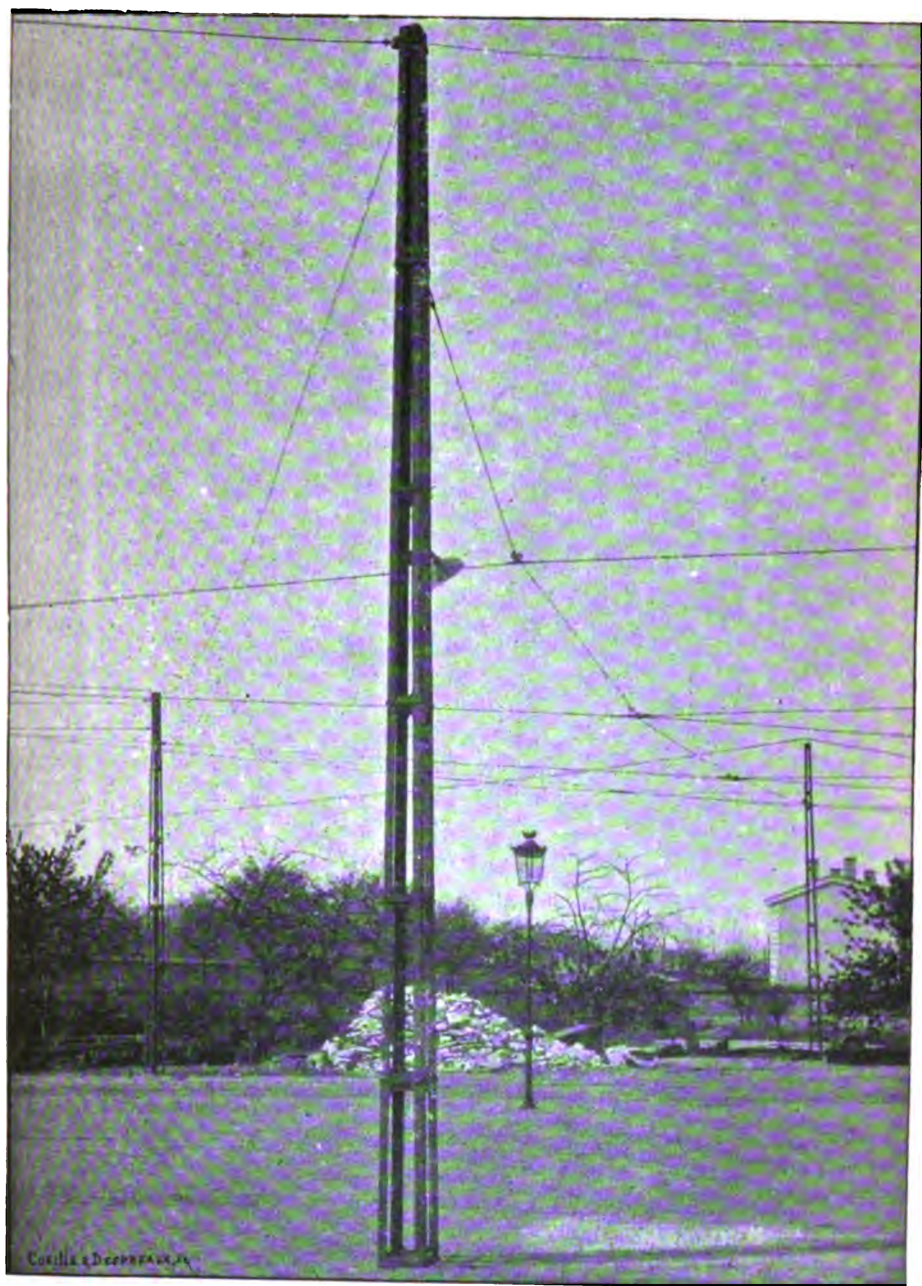


Fig. 64. — Poteaux, système O. André, installés sur la ligne de Saint-Fons à Lyon (1895).

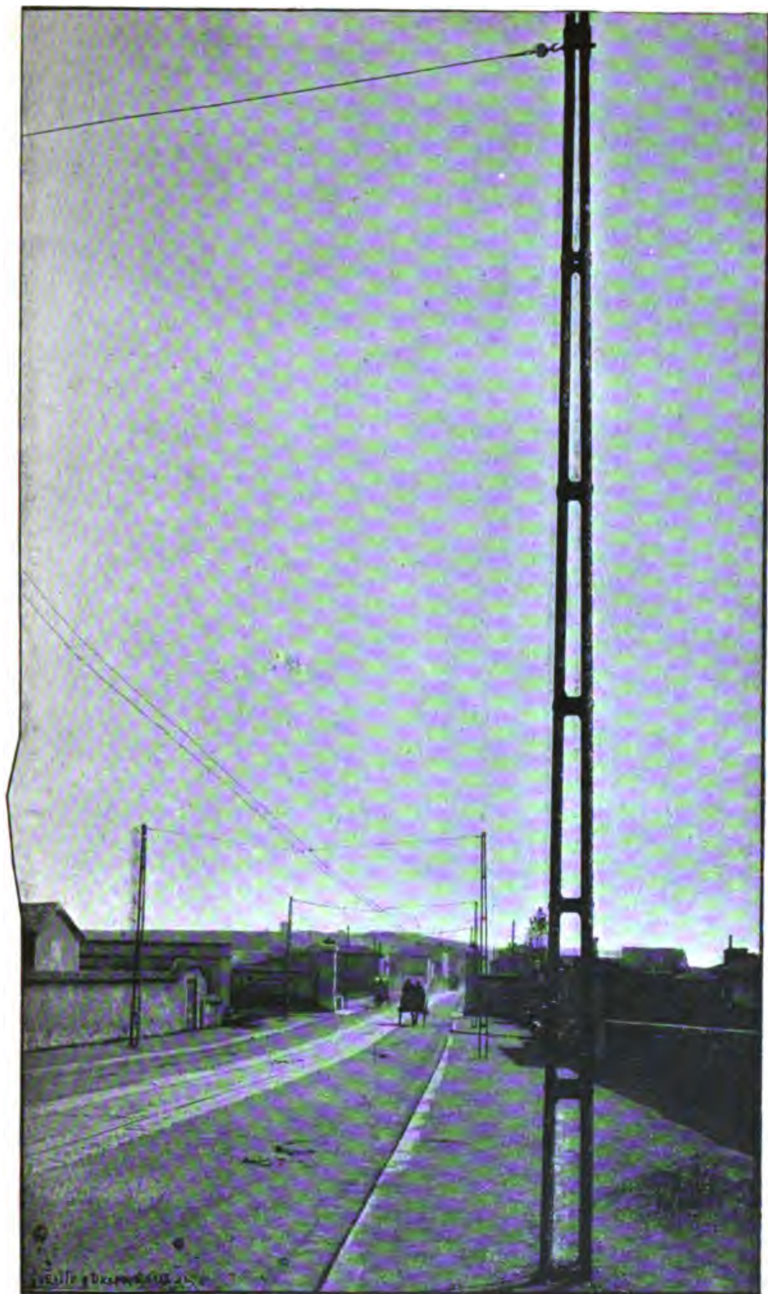


Fig. 65.— Poteaux, système O. André, installés sur la ligne de Saint-Fons à Lyon (1895).



Fig. 66. — Grande-Place, à Roubaix : Ligne aérienne équipée avec les poteaux à section carrée, système O. André (1875).

Les poids respectifs sont de :

En poteau-tube, 135 kilogrammes et 600 kilogrammes.
En poteau à base carrée, 120 kilogrammes et 530 kilogrammes.

Avec le poteau à base carrée, la flèche est de 90 millimètres seulement, avec un poids total moindre de 10 pour cent. Le prix des poteaux à base carrée est inférieur à celui des poteaux tubes, comme nous le verrons plus loin dans le chapitre spécial du *prix de revient du matériel.*

Accessoires et supports du fil de travail. — Nous donnons, dans les figures 67 à 72, les divers modèles d'isolateurs qui supportent le fil du travail, et les accessoires concernant le croisement de ligne, etc., etc. (*fig.* 73).

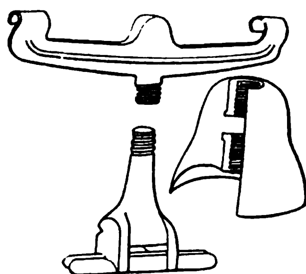
Garnitures protectrices du fil de travail. — La ligne électrique d'un tramway est souvent croisée par des fils téléphoniques ou télégraphiques, toujours placés à un niveau supérieur. Pour protéger ces fils contre un contact éventuel, en cas de rupture, avec le fil de travail à 500 volts, on garnit celui-ci de différentes manières aux croisements dangereux ; la méthode la plus généralement employée est de placer un corps isolant, une réglette en bois léger, au-dessus du fil de travail et directement attachée sur lui.

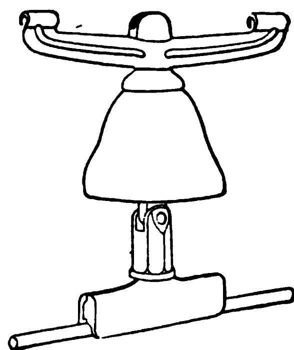
La figure 74 représente la pose d'une ligne aérienne de tramways.

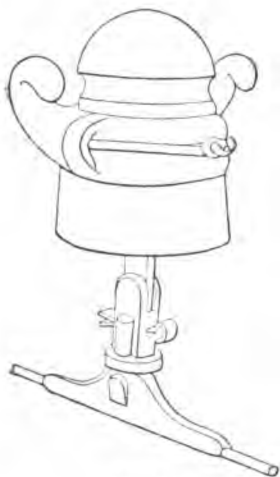
Résistance d'isolement du fil de travail. — Cet isolement est essentiellement variable, à cause des nombreux facteurs qui peuvent l'influencer : le degré d'humidité, le nombre de supports, leur nature, etc. Cependant, pour donner l'ordre de grandeur de ce facteur, nous citerons les essais qui ont été faits sur les lignes du réseau de Washington, pendant les mois d'octobre, novembre et décembre 1895 : nous réunissons dans le tableau suivant (p. 113) les chiffres trouvés [1] :

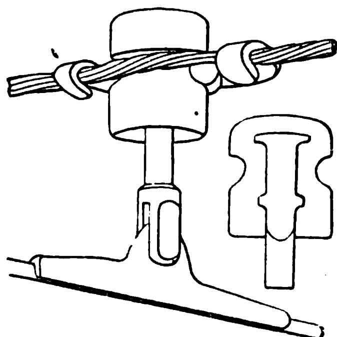
[1] *Street-Railway Journal*, 1896.

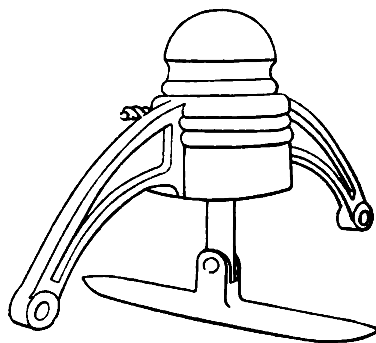

FIG. 67.


FIG. 68.

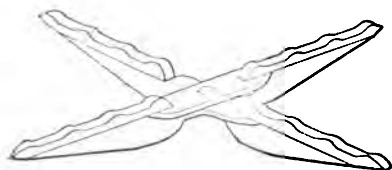

FIG. 69.


FIG. 70.


FIG. 71.


FIG. 72.

DIVERS SUPPORTS DE LIGNE AÉRIENNE.



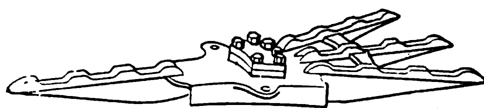


FIG. 73. — Dispositions du croisement de deux fils de travail.



Fig. 74. — Pose d'une ligne aérienne de tramways.

RÉSISTANCE D'ISOLEMENT EXPRIMÉE EN OHMS

NUMÉROS des CIRCUITS	17 OCTOBRE		15 NOVEMBRE		6 DÉCEMBRE	
	POSITIF	NÉGATIF	POSITIF	NÉGATIF	POSITIF	NÉGATIF
N° 1	19 500	770	8 300	400	36 800	1 250
2	16 500	280	5 200	14	25 800	700
3	18 100	670	8 000	480	29 100	830
4	10 900	770	5 200	330	27 600	910

Le 17 octobre, il faisait un temps beau et sec. — Le 15 novembre, le temps était mauvais et il avait plu presque toute la journée. — Le 6 décembre, le temps était froid et sec et il n'avait pas plu depuis quelques jours.

On remarque l'influence du temps et, cependant, il ressort de ces chiffres qu'ils se tiennent bien, car on pourrait trouver entre eux une certaine proportionnalité :

La résistance d'isolement, du 15 novembre était environ la moitié de celle du 17 octobre, et le quart de celle du 6 décembre.

Dans l'essai du circuit n° 2 du 15 novembre, il y avait un défaut sur le câble.

Les essais furent continués en inversant la polarité, à partir du 6 décembre. Les résultats obtenus furent les suivants :

ESSAI SUR LE CIRCUIT N° 4

DATES	RÉSISTANCE du CONDUCTEUR EST	POLARITÉ	RÉSISTANCE du CONDUCTEUR OUEST	POLARITÉ	REMARQUE
6 Décembre.	27 600 ohms	+	910 ohms	—	Mesure faite après l'inversion.
24 Décembre.	280 —	—	2 500 —	+	Mesure faite après l'inversion.
9 Janvier ...	5 000 —	+	780 —	—	

Les résistances élevées étaient mesurées avec un voltmètre Weston, et les petites résistances avec un ampèremètre spécial. On employa aussi ensemble ces deux appareils.

Ces quelques chiffres font ressortir l'importance des pertes d'énergie, plus ou moins grandes et qui dépendent d'un isolement plus ou moins élevé.

Maintenant que nous avons étudié les conditions d'établissement des lignes de tramways électriques, nous allons examiner les perturbations d'ordres divers qu'elles peuvent occasionner. Ces perturbations sont celles dues aux effets électrolytiques, ensuite viennent celles occasionnées aux lignes téléphoniques, et, enfin, d'autres moins connues, sur les appareils électriques de mesure et de contrôle.

Perturbations diverses occasionnées par les tramways électriques. — A. *Effets destructeurs de l'électrolyse. — Moyens préconisés pour les réduire.* — En utilisant les rails comme conducteurs de retour, il arrive, quelles que soient les précautions prises, qu'une certaine partie du courant de retour est dérivée sur les conduits métalliques à gaz et à eau. Les effets d'électrolyse peuvent être produits par deux catégories de courant : 1° par ceux qui prennent naissance dès que la différence de potentiel entre deux points dépasse la force contre-électromotrice de polarisation : il naît alors un courant permanent entre la voie de retour et le sol ; comme nous le verrons plus loin, les actions électrolytes sont dangereuses dès que cette différence dépasse 4 à 5 volts ; 2° par des courants dérivés directs, quand le courant de retour trouve un chemin plus facile que celui des rails, c'est-à-dire quand la section des rails est trop faible par rapport à la densité du courant et qu'il y a ainsi des pertes à la terre.

Ces actions électrolytiques produisent des désordres graves sur les conduits métalliques environnant la voie du tramway, ce qui oblige les Compagnies exploitantes à payer de fortes indemnités aux intéressés. On s'est demandé quels seraient les moyens à employer pour arriver à diminuer ou annuler ces effets. Cette question a été étudiée par

M. Potier dans un remarquable rapport [1]. Deux méthodes principales ont été préconisées : 1° utilisation de la propriété du courant de ne pas ronger les cathodes ; 2° réduction de la différence de potentiel dangereuse.

Première méthode. — Soit une voie RR′ (*fig.* 75); supposons que le courant aille de R en R′, et soit TT′ un tuyau métallique qu'il s'agit de protéger contre l'action destructrice des courants parasitaires.

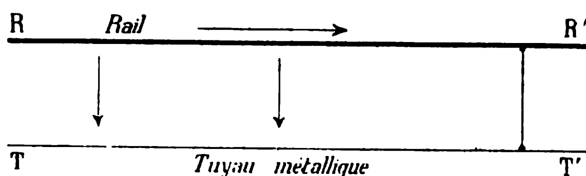


Fig. 75.

Si l'on relie R′ à T′ par un fil métallique, le tuyau TT′ recevra le courant total qui y produira des dépôts réducteurs ou alcalins sans danger pour sa conservation : l'oxydation, au contraire, se produira sur le rail et principalement au point R.

Mais, pour que cela soit vrai, il faut que les trois conditions suivantes soient remplies : 1° le tuyau TT′ doit être un circuit continu et *très conducteur*, sinon les effets électrolytiques s'y produiront rapidement ; 2° il faut que le tuyau TT′ soit d'une longueur convenable pour que la différence de potentiel entre les points T et T′ ne dépasse pas 5 volts ; 3° il ne doit pas être possible que le courant, provenant directement du fil de travail, emprunte le conducteur métallique TT′ pour retourner à la station centrale ou même aux rails.

Remarquons que, ces conditions étant remplies, l'électrolyse de première catégorie sera évitée ; mais, s'il y a des pertes à la terre (électrolyse de deuxième catégorie), cette disposition ne supprimera pas les effets destructeurs. Disons, en passant, que l'on a proposé, pour réduire l'électrolyse, de

(1) *Société Internationale des Électriciens*, mai 1893.

mettre alternativement les deux pôles aux rails : c'est *retarder* l'action destructrice, mais ce n'est pas l'*éviter*.

Deuxième méthode. — Elle consiste à réduire la différence de potentiel, entre les deux points extrêmes de la voie, à sa plus petite valeur.

Cherchons quelle doit être cette différence de potentiel aux extrémités, sur 1 kilomètre de voie double, avec deux voitures en circulation, consommant chacune 20 ampères, qui est un chiffre très moyen.

La résistance électrique de 1 kilomètre de voie double, avec des rails de 40 kilogrammes, est de 0,007 ohm. On aura donc une perte de :

$$\frac{2 \times 20 \times 0{,}007}{2} = 0{,}14 \text{ volt.}$$

Si l'on suppose une ligne de 10 kilomètres, avec le même trafic par kilomètre, on aura 10 fois plus de voitures, et la perte sera, en supposant la station centrale placée à l'une des extrémités :

$$10 \times 10 \times 0{,}14 = 14 \text{ volts.}$$

Cette perte de 14 volts est trop importante. On voit immédiatement que, pour ramener cette perte dans les limites admises de 5 à 7 volts (décision du Board of Trade de Londres), il faudrait doubler la voie avec un conducteur dont la résistance serait la moitié de celle de la voie, soit par kilomètre 0,0035 ohm : ce qui conduit à un câble de cuivre d'une section de 50 millimètres carrés, pesant 45 kilogrammes au mètre courant, soit 450 tonnes de cuivre pour arriver au résultat demandé.

Méthodes pour réduire les effets électrolytiques. — M. Potier, dans son étude, examine un premier procédé (*fig.* 76) qui consiste, en prenant une ligne de 10 kilomètres, à la diviser en dix sections de 1 kilomètre chacune et de relier chaque section à la station par un fil de résis-

tance R, la même pour tous. Ce moyen est une demi-solution, car le calcul donne 30 tonnes de cuivre à mettre en terre, pour l'exemple considéré. M. Parnham, dans le même

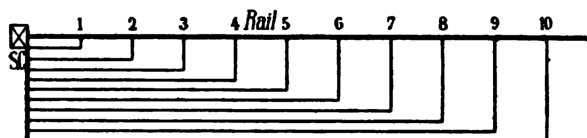


Fig. 76.

ordre d'idées, a proposé de placer un conducteur unique le long de la voie et de relier la voie à celui-ci, en faisant aussi des sections d'égale longueur (*fig.* 77).

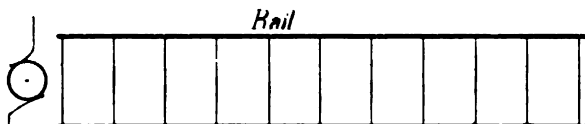


Fig. 77.

Un deuxième procédé a été proposé : c'est d'intercaler un survolteur qui relève la tension à l'extrémité de la ligne. On peut, du reste, combiner ces deux procédés.

Enfin, un troisième procédé peut être appliqué : c'est celui de la distribution à trois fils, emprunté à la distribution d'énergie pour l'éclairage électrique : M. Lauriol a été l'un des premiers à proposer ce système qui, croyons-nous, a été appliqué en Amérique : la voie remplit le rôle de fil neutre,

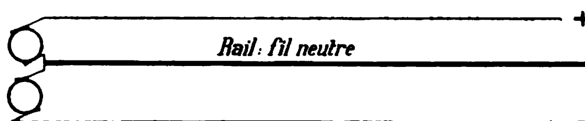


Fig. 78.

et n'est parcourue que par la différence des intensités existant sur les deux fils. La disposition est celle de la figure 78.

Ce système permet d'annuler complètement les effets d'électrolyse : il a seulement l'inconvénient de compliquer

un peu les tableaux de distribution et la marche à l'usine; mais, étant donné le résultat atteint, cela est de bien peu d'importance.

Quoi qu'il en soit, les effets d'électrolyse sont difficiles à éviter; c'est ce qui résulte d'un rapport de M. Forham, où il est dit que :

1° Tous les tramways à trolley unique donnent lieu à des effets d'électrolyse et, par conséquent, à une attaque des tuyaux et câbles placés dans leur voisinage immédiat;

2° Une fraction de volts de différence, entre les tuyaux et la terre humide environnante, suffit pour occasionner l'attaque;

3° L'assemblage électrique des rails et l'établissement d'un conducteur de retour, à forte section, sont des moyens insuffisants pour annuler le danger;

4° Il est de même inutile et coûteux de munir les tuyaux à protéger de grandes plaques de terre, car la surface d'attaque est trop considérable;

5° Un isolement, même soigné, des câbles et tuyaux, au moyen de brai, ne les préserve en rien des actions électrolytiques; il n'est pas plus utile de chercher à interrompre leur continuité électrique au moyen de joints mauvais conducteurs;

6° Il est préférable de relier le pôle positif de la dynamo au fil de travail; le sens du courant ainsi déterminé est moins préjudiciable à la bonne conservation des tuyaux;

7° Le procédé qui a donné les meilleurs résultats consiste à relier l'autre pôle de la dynamo à un fort conducteur relié tous les 30 mètres aux rails et aux tuyaux menacés. Il est bon d'employer un conducteur séparé pour chaque groupe de tuyaux à protéger, mais il n'est pas du tout suffisant d'établir une simple liaison à l'usine entre ces tuyaux et les dynamos;

8° Les jonctions entre les tuyaux et les rails doivent être l'objet d'une surveillance active, et des mesures électriques fréquentes doivent être prises pour s'assurer de l'équilibre de potentiel entre les tuyaux à protéger et les corps environnants.

Au Congrès international des Électriciens de Genève,

M. Ernest Gérard, au nom de la Commission spécialement désignée pour étudier les perturbations téléphoniques dues aux courants industriels et, en particulier, produits par les tramways électriques, donne les conclusions suivantes :

1° Les réseaux téléphoniques peuvent être efficacement protégés contre les perturbations, dues aux courants industriels, par la suppression du retour par la terre et l'emploi d'une double ligne ;

2° Les circuits industriels, qui transportent des courants plusieurs millions de fois plus intenses que les courants téléphoniques, doivent être établis dans les meilleures conditions d'isolement et de compensation, pour réduire les fuites et les effets d'induction au minimum ;

3° Partout où une partie du circuit industriel à courant continu est à la terre, comme pour le cas des tramways et chemins de fer électriques, on doit, dans la mesure du possible, recourir aux mesures spéciales suivantes pour réduire les perturbations téléphoniques :

a) Bon isolement de la ligne de prise de courant et de toutes les parties électriquement en contact avec elle ;

b) Câbles de retour isolés depuis les points les plus chargés du réseau et éventuellement reliés à des survolteurs ;

c) Eclissages soignés, liaisons transversales entre les rails, fil spécial de retour ;

d) Chercher à éviter dans la construction du moteur toute disposition tendant à produire une ondulation du courant ;

4° Dans le cas de croisement aérien des lignes téléphoniques et des circuits industriels, l'adaptation de plombs fusibles dans les lignes téléphoniques suffit lorsque la tension des courants industriels est inférieure à 750 volts. Dans le cas de tension supérieure, l'emploi des dispositifs de garde d'une efficacité absolue et avec liaison à la terre est indispensable.

Nous terminerons l'examen de cette si importante question par les conclusions du remarquable rapport de M. Potier dont nous avons parlé plus haut, et nous donnons ci-dessous ces conclusions dans leur intégralité :

« Il résulte de ces considérations que, lors même qu'un

réseau de tramway, avec retour par les rails, s'étendrait à 10 kilomètres de l'usine centrale et serait le siège d'un trafic assez intense pour demander deux voitures par kilomètre, ce qui correspond à un total de plus d'un million de voitures-kilomètres par an pour chaque ligne, il sera possible de ne rien avoir à redouter des actions électrolytiques, mais au prix de sacrifices notables, si l'on conserve la limite de 500 volts actuellement en usage et qui entraîne une consommation de 20 ampères par voiture. L'importance de ces sacrifices peut-elle être diminuée?

« On a fait remarquer que ces artifices ne dispensent pas de relier, avec soin, les rails entre eux, à moins que le sectionnement ne soit poussé très loin ; il est, dès lors, logique de se demander pourquoi l'on ne profiterait pas de la conductibilité ainsi acquise à grands frais et qui n'est utilisée que dans le système à trois fils. Or, la résistance d'une voie double, en rails de 40 kilogrammes par mètre, bien établie, n'étant que 0,007 ohm, il en résulte qu'on peut, sur une ligne de 5 kilomètres, avec des voitures également espacées, faire passer un courant de 200 ampères, correspondant à dix voitures, sans dépasser :

$$200 \times 2,5 \times 0,007 = 3,5 \text{ volts}$$

de différence de potentiel entre les deux extrémités. Par conséquent, pour toute ligne ne s'éloignant pas plus de 5 *kilomètres* de la génératrice, une ligne *bien soignée est suffisante*.

« D'un autre côté, il ne paraît pas économique, dans les conditions actuelles, de faire, à plus de 5 kilomètres, un transport d'énergie à 500 volts ; si donc, on a des raisons de ne pas employer les trois fils (ce qui est une manière d'opérer sous 1.000 volts), la solution préférable consistera à établir une (ou plusieurs suivant la longueur) sous-station de transformation aussi voisine que possible de la voie et desservant, de chaque côté, une longueur de 5 kilomètres au plus. Les fils de trolley étant déjà, sur beaucoup de lignes, divisés en sections, isolées les unes des autres, il n'y a pas

à craindre de courants envoyés dans une génératrice par une autre. Les avantages des sous-stations paraissent évidents ; la dépense d'énergie qu'elles entraînent est inférieure à la perte de 16 pour cent admise plus haut ; les fils qui y amèneront le courant à haute tension ne seront pas plus coûteux que les feeders actuels ; on économise toute la masse de cuivre que les autres procédés exigent et dont l'amortissement pèse lourdement sur l'exploitation des lignes à courtes concessions. »

Règlement du Board of Trade pour prévenir les effets d'électrolyse. — Pour prévenir et réglementer les effets destructeurs dus à l'électrolyse sur les lignes de tramways électriques, le Board of Trade de Londres (bureau de contrôle) a édicté le règlement suivant :

1° L'un des conducteurs, dit *la ligne*, doit être convenablement isolé. L'autre, dit *le retour*, peut être isolé ou non sur toute ou partie de sa longueur, conformément aux prescriptions suivantes :

Tout conducteur non isolé formant partie d'un retour doit être relié aux rails tous les 30 mètres, par des fils de cuivre ayant au moins 107 millimètres carrés de section, ou par une communication de même conductibilité.

Toute partie d'un retour non isolée doit être reliée à la barre négative de la station génératrice : ces raccords avec les génératrices doivent être faits par l'intermédiaire d'ampèremètres appropriés.

Lorsque les rails font partie du retour, ils doivent être reliés entre eux, au moins tous les 30 mètres, de façon à pouvoir supporter, sans échauffement appréciable, un courant de 100 ampères. Ils doivent être reliés au pôle négatif des génératrices. Lorsque le retour n'est pas isolé en tout ou partie, la Compagnie devra tenir note sur un registre et jour par jour, des différences de potentiel constatées, pendant le service et au moment de la plus forte charge, entre le point le plus éloigné et le plus rapproché de la station. Si, à un moment quelconque, cette différence dépasse 7 volts, la Com-

pagnie devra prendre immédiatement des mesures pour la ramener au-dessous de cette limite.

Toute ligne de retour isolée doit être établie par sections, et des interrupteurs disposés aux stations ou à proximité doivent permettre d'isoler les sections pour localiser rapidement les défauts.

La résistance d'isolement de tout conducteur ne doit pas descendre au-dessous de 16 mégohms par kilomètre : elle sera vérifiée au moins une fois par mois.

Le courant de perte sera mesuré chaque jour avant et après les heures de service à la tension normale et inscrit sur le registre. Si la valeur de ce courant indique un défaut, on devra immédiatement prendre des mesures pour localiser celui-ci et le faire disparaître.

La Compagnie doit, autant que le permettra son système d'exploitation, tenir un registre contenant les indications spécifiées ci-dessous; ce registre devra être conservé au moins pendant une période de douze mois et communiqué au Board of Trade, chaque fois que celui-ci en fera la demande.

A. *Indications journalières.* — 1° Numéros des trains en service; — 2° courant maximum de travail; — 3° tension maxima de travail; — 4° courant maximum des rails aux génératrices; — 5° courant maximum de la terre aux génératrices; — 6° courant de perte; — 7° chute de potentiel dans le conducteur de retour.

B. *Indications mensuelles.* — 1° Différence de potentiel maxima entre les rails et la terre; — 2° résistance d'isolement des conducteurs.

C. *Indications accidentelles.* — 1° Localisation et suppression des défauts, avec le temps employé à ce travail; — 2° compte rendu de tout événement anormal, concernant le service électrique du tramway ou du chemin de fer électrique.

B. ***Perturbations sur les lignes téléphoniques.*** — Ces perturbations forment la deuxième catégorie des troubles occasionnés par les tramways électriques. Leurs effets sont très gênants et ont des causes encore peu connues.

M. du Riche-Preller s'est posé le problème de la façon suivante : il a cherché à déterminer sur des réseaux existants :

1° Si le type de construction aérienne de la ligne a une influence sur les distributions téléphoniques ;

2° Si ce sont les effets d'induction, dus aux fuites ou aux courants dérivés, ou à d'autres causes, qui produisent ces perturbations.

Les recherches ont porté sur les réseaux aériens des tramways suivants: Bâle, — Genève, — Le Havre, — Marseille, — Mulhouse, — Zurich.

Les observations sont consignées dans le tableau suivant :

NOMS DES VILLES	BALE 1	GENÈVE 2	LE HAVRE 3	MARSEILLE 4	MULHOUSE 5	ZURICH 6
Longueur de la ligne	5 kilomètres	Ligne Petit-Sacconnex 6km,5	voies doubles 20 kilom.	5 kilomètres	8 kilomètres	10 kilomètres
Système de trolley employé	contact glissant à archet (S.H.)	Sabot glissant	Trolley ordinaire	Trolley ordinaire	contact glissant à archet (S. H.)	Trolley ordinaire
Position des fils téléphoniques par rapport au fil de travail	Aériens : retour par la terre, distants du fil de travail de 12 à 15 m.	Aériens, et retour par la terre, distants de 5 m., 2 m. et même 1 m.	Aériens : parallèles au fil de travail et distants de 15 m.	Aériens : parallèles à la voie.	Aériens : retour par la terre.	Aériens et souterrains, parallèles au fil de travail et distants de 1 à 5 mètres.
Perturbations observées	Nulles	Pratiquement nulles	Très fortes	Très fortes	Nulles	Très fortes
Dépenses occasionnées par la réfection par kilomètre et nature de cette réfection	Néant	Néant	10.000 fr. Le retour par la terre a été supprimé; les lignes ont été doublées.	16.000 fr. Suppression du retour par la terre; les lignes ont été doublées.	Néant	25.000 fr. Tout le réseau téléphonique a été placé en terre.

Les perturbations étaient surtout très fortes au démarrage, à l'arrêt des voitures et dans le passage en courbe : le sifflement des armatures était perçu nettement et rendait souvent les communications impossibles : ces effets furent observés spécialement à Zurich.

M. du Riche-Preller conclut ainsi ses recherches sur ce sujet :

« Il y a, d'abord, entre les deux systèmes une différence marquée dans le mode de suspension : tandis que le trolley à contact roulant exige un grand nombre de points de suspension, principalement dans les courbes, afin de maintenir le conducteur dans l'axe de la voie; le conducteur, dans le système à contact glissant à archet, peut être posé en forme de longs côtés d'un polygone, et cela avec très peu de points de suspension; de plus, aux croisements, les fils de contact sont strictement soudés les uns aux autres, ce qui assure la continuité du contact. D'autre part, dans le système à contact roulant, chaque point de suspension (soit un isolateur ordinaire, soit une aiguille ou un croisement) entraîne un saut de la roue du trolley, ce qui donne naissance à une étincelle souvent forte, et cela se produit à presque tous les points de suspension : par suite, des fuites se produisent et sont l'une des causes, pensons-nous, des perturbations téléphoniques. Cette opinion est confirmée par un essai dont nous avons été témoin sur l'une des lignes de Zurich : on substitua temporairement le contact glissant, employé à Genève, au trolley à roulette ; les étincelles et les perturbations téléphoniques furent pratiquement les mêmes : ce qui prouve que le défaut ne tient pas à la roulette elle-même, mais surtout au système de construction aérienne qu'elle nécessite.

« Une autre cause qui tend à augmenter les perturbations doit être recherchée dans la construction des moteurs. Le contraste est frappant aussi entre le glissement silencieux de l'archet d'aluminium et le bruit désagréable, principalement dans les courbes, de la roulette contre le fil. Tous ces bruits trouvent un écho dans les téléphones par l'effet d'induction, tandis que la mise en marche des moteurs, qui

entraîne une augmentation subite de l'intensité du courant, affecte les téléphones principalement par l'augmentation soudaine de la différence de potentiel entre les contacts et la terre, en raison du contact défectueux et de l'insuffisance des procédés usuels d'isolement. »

Maintenant que nous avons étudié les causes de perturbations, quels sont les moyens proposés pour les annuler? Plusieurs dispositions ont été proposées, parmi lesquelles nous citerons celle de M. Rheins, qui a donné de bons résultats, sans grands frais.

Moyens employés pour corriger les effets d'induction dans les fils téléphoniques par des fils de retour commun. — M. Rheins a étudié, sur le réseau téléphonique de Dijon, ce moyen de correction. Auparavant, les perturbations sur le réseau téléphonique ont été étudiées sur 184 lignes d'abonnés : il a démontré que 10 pour cent des communications étaient absolument impossibles, 30 pour cent étaient difficiles et présentaient un bruit très intense, et qu'*aucune* communication n'était indemne de perturbation.

Pour remédier à cet état de chose, M. Rheins relia, par un fil spécial, chaque abonné aux fils inutilisés du réseau, qui furent mis à la terre au bureau central : on constituait ainsi un retour commun. Le résultat de cette modification fut la suppression complète des perturbations, résultant des actions du fil de travail.

Plus tard, on transforma le réseau en mettant partout le double fil de retour : les résultats ne furent pas améliorés. Il résulte donc de ce fait que le retour, par un conducteur commun, peut suffire *pratiquement :* cette solution est d'autant plus intéressante qu'elle peut se réaliser facilement et à peu de frais.

Disons cependant que l'emploi du fil de retour commun a un inconvénient pratique : un abonné peut entendre, pendant une communication, une conversation échangée par un autre abonné, d'où peuvent résulter des indiscrétions.

M. Piérard, ingénieur des téléphones belges, a proposé le système suivant qui, tout en utilisant un fil de retour commun

isolé, permet d'éviter les indiscrétions d'abonné à abonné (*fig.* 80).

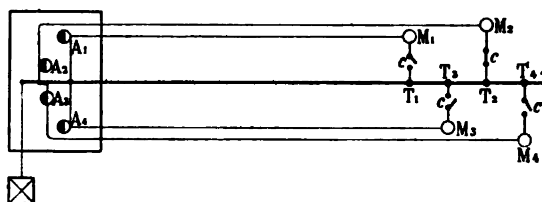


Fig. 80. — Disposition schématique du système Piérard.

Tous les fils téléphoniques des postes M_1, M_2, M_3, M_4, ont une même terre ; A_1, A_2, A_3, A_4, sont les annonciateurs correspondants. Lorsque l'abonné décroche son téléphone, le fil de retour commun, dit *fil d'équilibre*, T_1, T_2, T_3, est substitué au fil de terre ; on a ainsi un circuit métallique complet. Un commutateur CC, placé chez chaque abonné entre le poste téléphonique et le fil d'équilibre, permet de ne pas se servir du fil de retour si l'on veut ; le retour se fait par la terre : on évite les indiscrétions, mais on peut être gêné par les bruits perturbateurs dus aux tramways.

Ce dispositif a été adopté à Herstal : dix-huit abonnés étaient reliés au fil d'équilibre. Les résultats obtenus ont été satisfaisants.

Signalons, en passant, un fait observé par M. Kapp; cet ingénieur a remarqué, dans plusieurs installations, que des bruits sonores pouvaient être transmis, selon que la voie de roulement des tramways était établie sur du béton, sur des traverses en bois ou en fer.

Nous allons examiner la troisième catégorie de perturbations produites par les tramways électriques : c'est celle observée sur les appareils de mesure et de contrôle, soit des laboratoires, soit des stations centrales. Nous insisterons un peu sur ce genre de perturbations et sur les moyens proposés pour les corriger, car elles sont très peu connues, même des spécialistes.

C. ***Perturbations sur les appareils électriques de mesure.*** — La troisième catégorie des perturbations pro-

duites par les tramways électriques est celle causée aux appareils de mesure. Ces perturbations peuvent avoir une certaine importance sur les appareils de mesure de la station centrale génératrice du courant, car elles peuvent fausser leurs indications, ou dans un autre ordre d'idées, elles peuvent influencer les appareils installés chez des particuliers, tels que compteurs d'énergie, ampèremètres, voltmètres, etc.

C'est M. Frölich qui, le premier, a spécialement étudié cette question, résumée ainsi dans une communication faite à la Société des Electriciens de Berlin (1).

Il classe ces perturbations en deux catégories :

1° Les effets d'induction produits par les courants circulant dans les conducteurs ;

2° Les effets dus aux courants dérivés à la terre, quand le retour se fait par les rails ou par tout autre circuit.

Pour les premières perturbations, M. Frölich les assimile à

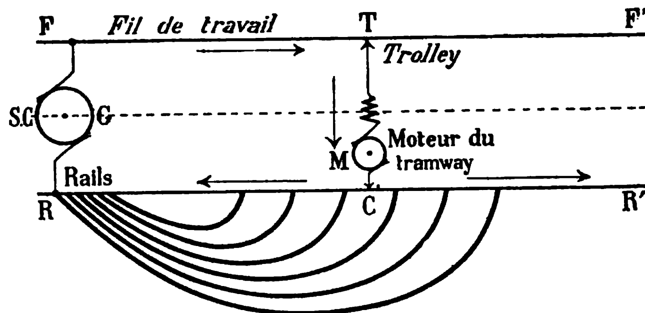


Fig. 81. — Perturbations causées aux appareils de mesure ; expériences de M. Frölich.

celles que produirait un aimant se déplaçant suivant l'axe du rectangle FTCR (*fig.* 81) ; ces effets sont *négligeables*, à moins que les appareils influencés soient tout voisins de la ligne. Les courbes de la figure 81 représentent cette influence due aux effets d'induction.

Autrement importantes sont les perturbations produites par les courants de retour. M. Frölich a étudié pratiquement

(1) *Lumière électrique*, 1896.

leurs effets sur les deux lignes de Dresden-Blasewitz et de Steglitz-Lichterfelde. Pour compléter ces indications, M. Frölich fit construire une petite ligne où il poursuit actuellement ses expériences.

Nous ne saurions mieux faire, pour donner le résultat de ces expériences, que de citer les conclusions de M. Frölich, dans sa communication :

« Quand une voiture quitte le dépôt, on observe une perturbation qui croît d'abord lentement, puis plus rapidement, et augmente encore jusqu'à ce que la voiture ait dépassé d'une certaine distance le point où est placé l'appareil de mesure influencé : cette perturbation conserve ensuite une valeur constante jusqu'à ce que le tramway soit arrivé à l'extrémité de la ligne. Cette allure régulière est surtout bien marquée dans le cas d'une ligne de tramway qui est sans courbe et parallèle à l'aiguille aimantée ; lorsque la ligne considérée a des courbes ou quand l'aiguille n'y est plus parallèle, les résultats sont un peu différents, quoique peu importants en pratique, si l'aiguille et la ligne sont dans une même direction ; l'action principale commence lorsque le tramway a *dépassé* l'appareil de mesure influencé.

Les courants terrestres s'observent spécialement auprès des parties du rail où passe le courant principal, et ils persistent jusqu'à ce que la voiture soit à une grande distance.

Si l'on considère la figure 81, le courant ne fait pas retour uniquement par la partie des rails et par la terre, comprise entre le tramway et la génératrice, mais aussi par les rails et la terre, en avant du tramway, jusqu'à une certaine distance (comme les courbes figuratives l'indiquent).

Ce phénomène s'observe principalement quand les joints de rails sont en mauvais état ; il en résulte que l'influence des courants terrestres se manifeste en avance et que l'effet peut être renversé avant que le tramway ait dépassé l'appareil de mesure influencé.

La courbe (*fig.* 82) des perturbations observées sur la ligne de Dresden-Blasewitz montre, au commencement, une déflection négative qui était due, probablement, aux courants de retour, en avant de la voiture. Il est possible que

les types des courbes de perturbations déjà obtenues ne soient pas les seuls, et que des recherches ultérieures en augmentent le nombre; mais, au point de vue pratique, on peut

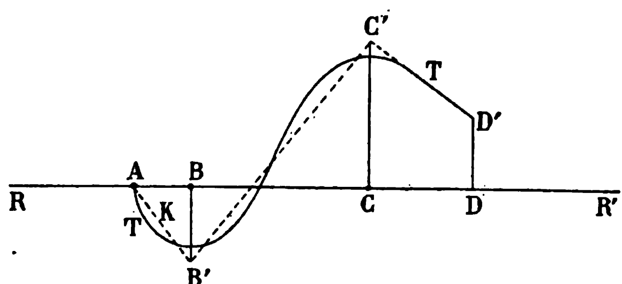


Fig. 82.

admettre que, dans la plupart des cas, les courants parasites sont la cause principale des perturbations, et on peut prendre comme type la courbe de la figure 84.

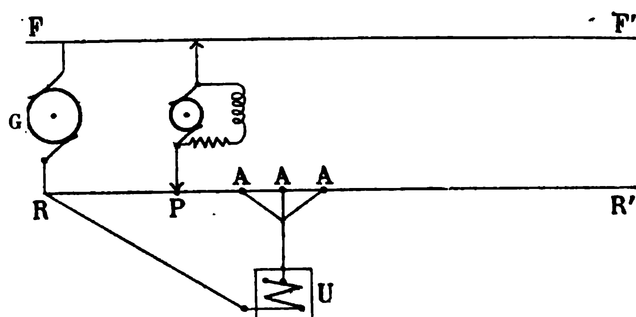


Fig. 83.

D'autres causes la modifieraient sans altérer essentiellement son caractère. »

Dans la pratique M. Frölich a employé les deux méthodes suivantes pour compenser ces perturbations :

1° Il enroulait un fil compensateur autour du bâtiment U où se trouvaient les appareils de mesure : ce fil compensateur était attaché au rail en AAA et venait rejoindre la génératrice G (*fig.* 83), la position de la voiture étant celle indiquée à la figure.

Si l'on admet que le retour se fait seulement entre le tramway et l'usine, on voit qu'il existe une différence de potentiel entre le point P et R et qu'il n'y en aura pas entre P et R';

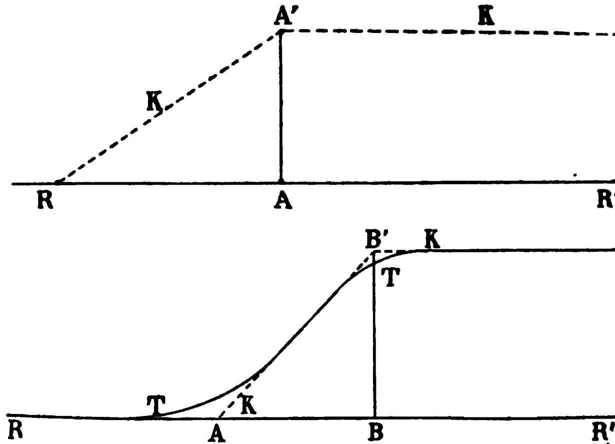


Fig. 84. — Construction de la courbe.

cette différence de potentiel augmente quand le tramway se rapproche de A et reste constante quand A est dépassé. La courbe des perturbations a l'allure de celle de la figure 84,

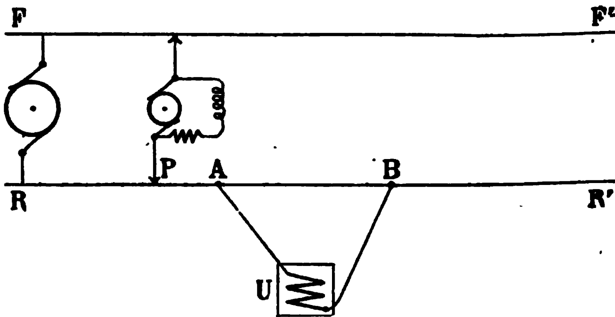


Fig. 85.

qui se rapproche beaucoup de celle de la figure 82. Pour avoir une compensation plus exacte encore, M. Frölich emploie le dispositif de la figure 85, dans lequel on voit que le tramway n'aura aucune influence dans le parcours AUB tant qu'il ne sera pas en A. A ce moment, l'intensité aug-

mentera régulièrement jusqu'à ce que le tramway soit en B, où elle atteint une valeur constante qu'elle conserve jusqu'à la fin du trajet,

La courbe obtenue avec cette disposition est indiquée en pointillé dans la figure 84.

Quand la courbe des perturbations est irrégulière, comme celle indiquée dans la figure, M. Frölich dispose plusieurs circuits compensateurs, comme le représente la figure 86.

La courbe compensatrice est représentée en pointillé sur la figure 82 : les points A'B'C'D' correspondent aux points de contact ABCD, qui relient les rails à l'enroulement U (*fig.* 86).

Voici comment M. Frölich réglait ce dispositif : quand le tramway est entre A et B, le circuit est ajusté de façon que le courant de compensation agisse comme l'indique AB' (*fig.* 82) ;

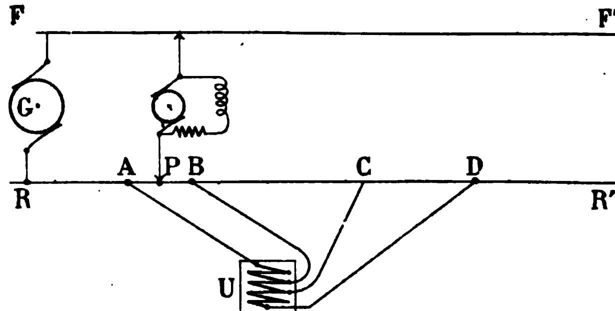


Fig. 86.

si le circuit de compensation n'a qu'une boucle, le courant de compensation conserve la valeur B'. Le tramway est ensuite placé entre B et C, le circuit AUB est alors coupé, et on introduit le circuit BUC qui est réglé de façon que la compensation soit représentée par la ligne B'C'. Pour éviter que le courant conserve la valeur représentée par C', on introduit entre C et D l'enroulement CUD, qui est réglé de la même façon.

On peut donc, au moyen d'un certain nombre de circuits, obtenir telle compensation qu'on voudra, et c'est en cela que la méthode est intéressante, car elle est générale ; quelle que soit la perturbation, on peut la compenser et on se rend

ainsi indépendant de l'intensité du courant total, c'est-à-dire du nombre de tramways en marche.

M. Frölich, dans ses essais, a pu réduire les perturbations dans le rapport de 75 à 80 pour cent pour l'une des lignes et de 95 pour cent sur l'autre ; l'auteur ajoute que, dans un cas ordinaire, la dépense pour établir le système compensateur serait de 10 à 12.000 francs au plus. M. Frölich termine sa communication en disant qu'il étudie expérimentalement s'il est plus avantageux de compenser chaque appareil de mesure ou le bâtiment, en l'entourant d'un conducteur.

Comme on le voit, en résumé, les tramways électriques à fil aérien sont la cause de perturbations assez graves. Mais on aurait tort de s'alarmer outre mesure, car chaque jour amène un perfectionnement pour combattre ces troubles, et il est certain qu'en prenant des précautions sérieusement raisonnées on arrivera, non pas peut-être à supprimer totalement les perturbations d'ordre divers, mais on rendra leur influence pratiquement nulle : c'est tout ce que l'on peut désirer.

Réparation des dommages causés par les divers genres de perturbations. — En France, quand des perturbations quelconques, produites par les tramways électriques, sont constatées, l'Administration met en demeure la Compagnie responsable de supprimer ces troubles : la Compagnie est contrainte de faire le nécessaire, et il lui est souvent demandé des dommages et intérêts. En Angleterre, le droit du premier occupant est bien reconnu, et il suffit de supprimer les perturbations ; cependant les réparations qui en résultent ne sont pas exigées, si cette obligation n'a pas été prévue au cahier des charges, quand la concession des tramways a été donnée, et si, en même temps, la Compagnie exploitante a fait un usage *normal et raisonnable* de ses droits.

Quoi qu'il en soit, il serait à souhaiter qu'on réglemente l'usage des droits de chacun, car, dans l'état actuel de la législation, c'est le droit du plus fort qui prime, ou alors c'est risquer d'engager des procès interminables et coûteux:

ce qui n'est pas fait pour rendre prospère une industrie qui ne peut que se développer, si les règlements qui la régissent sont équitables.

C. — Ligne souterraine a conducteur

L'établissement de la ligne aérienne a rencontré, dans certaines villes, des difficultés dont la principale a d'abord été que ces lignes, avec poteaux, fils de suspension, tendeurs et de travail, déparaient l'aspect des rues principales où l'on aurait eu le plus d'intérêt *pratique* à les installer.

On a donc cherché, dès le début de la traction électrique, à établir des lignes dont le fil de travail serait souterrain. On chercha dans deux directions bien différentes : 1° la ligne souterraine avec caniveau ; — 2° la ligne souterraine sans caniveau, à sections multiples, sur lesquelles le courant n'est envoyé qu'au passage de la voiture.

A. **Ligne souterraine à caniveau.** — Les premiers essais, en date, qui furent tentés, sont ceux du système Holroyd Smith, qui a été installé, dès 1885, à Blackpool. En 1887, la maison Siemens et Halske installe les tramways de Budapest. Un grand nombre de brevets furent pris pour l'exploitation du système à caniveau, ils ne diffèrent que par des détails. Les deux seules lignes que l'on puisse citer, qui fonctionnent *pratiquement* et d'une façon satisfaisante, avec ce système, sont justement celles des lignes d'expériences de Blackpool et de Budapest, dont les réseaux se sont développés au fur et à mesure que les difficultés pratiques étaient résolues. C'est ainsi qu'à Budapest, le réseau qui n'avait que quelques kilomètres, a aujourd'hui 45 kilomètres de voie établis avec ce système, et, d'ici un an ou deux, le réseau total de la ville sera entièrement équipé (60 kilomètres) avec le caniveau souterrain.

Le principe du système consiste à avoir un caniveau de petite dimension (50 à 60 centimètres de côté), sur lequel sont placés les deux câbles constituant la ligne de travail, qui

est alimentée, à la façon ordinaire, par des feeders, quand les distances et les conditions du trafic l'exigent. Une rainure, généralement placée entre l'un des rails de la voie, permet au trolley de prendre le contact sur la ligne de travail souterraine et d'envoyer le courant aux moteurs de la voiture à la façon ordinaire. Avec ce système, le retour du courant se fait *toujours* par un conducteur spécial et *non par les rails;* ce qui supprime les troubles divers, dus à l'électrolyse et aux pertes de courant.

Ce caniveau, où l'on ne peut pas pénétrer, n'est pas sans présenter quelques inconvénients ; l'entretien et les réparations courantes sont en effet difficiles à faire et ne peuvent l'être que pendant la nuit, aux heures où l'exploitation est arrêtée; dès qu'il faut toucher à la ligne de travail, soit pour une réparation, soit pour la recherche d'un défaut d'isolation, il faut ouvrir une tranchée, ce qui n'est pas sans inconvénient pour la circulation des autres véhicules.

Dans une ville à trafic intense, comme à Paris, où le balayage se fait mécaniquement, le caniveau ne tarderait pas à se remplir, malgré les précautions de vidange qui pourraient être prises, d'où des obstructions possibles et un mauvais isolement de la ligne. Enfin, ce dispositif est coûteux comme dépense de premier établissement.

Malgré ces inconvénients, le caniveau souterrain, à petite section, dans des villes de *moyen trafic*, peut rendre des services inappréciables, et la meilleure preuve que l'on puisse citer à l'appui de ce dire, c'est qu'à Blackpool et à Budapest, en particulier, l'exploitation se fait dans d'excellentes conditions, et avec un bon rendement financier, malgré les frais de premier établissement qui ont été très grands, puisque ce n'est qu'après des tâtonnements coûteux que le résultat actuel a été atteint. Si l'on considère des villes à *trafic intense*, comme Paris, et dont les conditions d'exploitation des transports en commun sont toutes différentes de celles qui existent dans les villes considérées plus haut, il faut chercher une autre solution, dans le même ordre d'idées.

En dehors de considérations spéciales, et qui n'ont rien de technique (la courte durée de la concession pour faire un

amortissement raisonnable), nous estimons que c'est le grand caniveau souterrain qui, dans une ville à grand trafic est la solution *économique* au point de vue de l'exploitation.

M. de Tavernier, dont la compétence en cette matière est indiscutable, s'exprime ainsi sur ce sujet [1] :

« La solution, c'est le grand caniveau souterrain, le caniveau « *circulable* », qui évite tous les inconvénients. Deux objections peuvent seulement lui être opposées :

« 1° Bien qu'unique pour les deux voies, il est d'un prix un peu plus cher que le double petit caniveau : 20 à 30.000 francs en plus, par kilomètre de double voie.

« Mais qui ne sait combien se regagne facilement toute dépense initiale supplémentaire rendant l'exploitation plus économique, ce qui est le cas ? Avec les comparaisons des dépenses et des recettes annuelles de l'exploitation, ces 20 à 30.000 francs en plus par kilomètre ne représentent qu'un pourcentage insignifiant sur une ligne à grande exploitation.

« 2° Le grand caniveau n'a pas encore été appliqué. Cette critique ne saurait supporter un instant la discussion. Car, si un tramway électrique peut être exploité avec un caniveau de 60 centimètres de hauteur, il est impossible de comprendre ce qui pourrait entraver son exploitation, en portant cette hauteur à 1 mètre, $1^m,20$ et $1^m,50$, l'équipement électrique restant le même.

« Grand caniveau ou petit caniveau, c'est, en somme, la même solution, et l'augmentation des dimensions n'a d'autre but et ne peut avoir d'autre résultat que de faire disparaître tous les inconvénients que l'expérience a révélés dans l'emploi du petit caniveau.

« Or, les inconvénients supprimés, restent les avantages, et ils sont aussi nombreux qu'évidents :

« 1° Le rendement électrique de la ligne (point absolument essentiel) ne peut qu'être excellent, meilleur même qu'avec les lignes aériennes et, de plus, à peu près indépendant des circonstances extérieures ;

(1) *Revue Technique*, 1896.

« 2° Par suite, on n'a plus à redouter les déperditions dans le sol, les phénomènes d'électrolyse, etc.

« 3° Le petit et le gros entretien peuvent se faire, comme le nettoyage, de jour, durant l'exploitation, sans gêne aucune, sans jamais avoir à ouvrir de tranchées. L'ouvrier, commodément installé sur un wagonnet, se déplace rapidement, a tout son matériel à portée, est éclairé à l'électricité, communique téléphoniquement avec l'usine, etc.

« Non seulement on peut entretenir et réparer, mais on peut même prévenir les incidents ou les accidents, ce qui assure une exploitation sans arrêt.

« 4° Enfin, on n'a jamais à redouter d'obstructions, et le balayage mécanique même est sans inconvénient..

« Une dernière considération milite encore en faveur du grand caniveau et semble de la plus grande importance. Voilà une ligne qui a été équipée pour un trafic déterminé et qui, tout d'un coup, se trouve appelée à recevoir un trafic double, triple, soit temporairement, par suite d'une exposition universelle, soit d'une façon permanente, par suite de la création d'une nouvelle ligne. Avec le petit caniveau, il va falloir ouvrir une tranchée plus ou moins continue pour changer ou renforcer les feeders, etc. Avec le grand caniveau, tout se fait sans arrêt d'exploitation, ni sans gêne pour la circulation publique. Et, si l'accroissement de travail est temporaire, les feeders provisoires peuvent s'enlever ensuite avec la même facilité.

« Le grand caniveau a toutefois un inconvénient, un seul; c'est, dans certains cas, la gêne causée par les égouts existants et peu profonds. De ce chef, la dépense peut se trouver sensiblement augmentée. Mais ce n'est là qu'une éventualité assez exceptionnelle, car presque partout, à Paris, les rues et boulevards à tramways sont munis de deux égouts latéraux qui, dès lors, ne gênent pas l'établissement du caniveau central. »

Nous signalerons une difficulté que l'on n'a pas encore rencontrée à Budapest ni à Blackpool, mais qu'on rencontrera probablement à Paris; cette difficulté n'est pas insurmontable, mais il est bon de la mentionner, car elle démontre

que, dès que l'on change de ville ou de pays, certaines difficultés, auxquelles on n'avait pas pensé, peuvent surgir. Nous voulons parler de l'ouverture de la rainure. Dernièrement, à Paris, on a voulu démontrer que l'établissement du petit caniveau, semblable à celui de Budapest, pouvait être installé, même sur les voies les plus fréquentées. Un tronçon de ligne d'environ 100 mètres fut construit dans un des quartiers les plus fréquentés, entre la rue Lafayette et le carrefour Châteaudun. Après quelques mois d'expérience, nous avons remarqué que l'ouverture du caniveau, pratiqué dans la gorge d'un des rails, *se fermait de plus en plus* (de 3 à 4 millimètres), et cela d'une façon peu uniforme : il en résulte des étranglements qui, lorsqu'on regarde l'ouverture de prise de courant, font serpenter la ligne. La raison de ce phénomène est que, toute la rue étant pavée en bois, par suite des dilatations du bois, un serrage énergique s'effectue. C'est là une difficulté importante avec laquelle il faudra compter à Paris où l'on a tendance à n'employer presque exclusivement que ce mode de pavage, surtout dans les voies importantes à grand trafic, où le caniveau pourrait être établi. Les efforts développés par la dilatation des pavés de bois sont si puissants qu'il arrive, dans certains cas, que les trottoirs dallés se soulèvent et qu'on est obligé de les refaire assez souvent, quoique l'on ait pris, pour atténuer cet effet, la précaution de laisser, entre la bordure de granit du trottoir et le commencement du pavé en bois, un espace vide d'environ 6 à 8 centimètres, rempli par du sable, qui peut être enlevé à mesure que la compression par dilatation augmente.

Ce phénomène aurait donc pour résultat de disloquer le caniveau et de compromettre la sécurité de l'exploitation qui doit être assurée, quel que soit le système employé, même au prix de sacrifices importants.

Description générale des lignes souterraines à caniveau. — *Système Siemens et Halske.* — Après un an d'essai de son système, dans ses usines de Charlottenbourg, la maison Siemens et Halske obtint, en 1885, la permission de faire un essai pratique du caniveau souterrain à Budapest (Hongrie).

Ce caniveau, qui est la partie fondamentale du système, est constitué par un canal, formé au moyen de cadres en fonte : ce canal a 33 centimètres de hauteur et 28 centimètres de largeur. Pour le construire, on place les cadres en fonte à $1^{m},20$ les uns des autres : ils déterminent ainsi le profil du caniveau dont la section est ovoïde, et on fait un remplissage en briques ou en ciment (*fig.* 87-88).

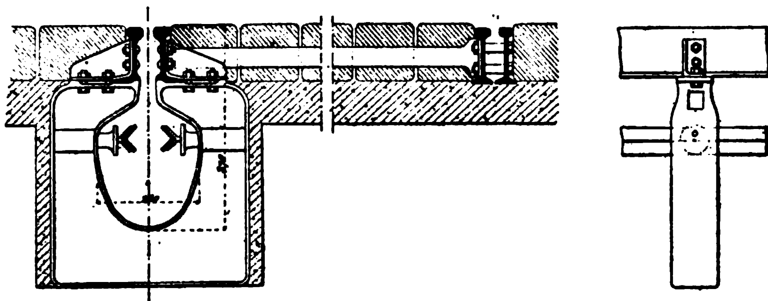


FIG. 87-88. — Coupe du caniveau souterrain, système Siemens et Halske.

A l'intérieur du caniveau, on monte sur les cadres en fonte des isolateurs en porcelaine qui supportent les conducteurs : ceux-ci sont constitués par des fers cornières à angle droit, et c'est entre eux que viendra glisser le trolley, après avoir pénétré par l'ouverture du caniveau, dont la fente a 33 millimètres de largeur.

De distance en distance, environ tous les 20 à 30 mètres, un regard, recouvert d'une plaque de fonte striée, est ménagé : ces regards se trouvent spécialement aux endroits où sont placés les isolateurs en porcelaine. Ces regards servent également pour le nettoyage qui est spécialement assuré par la déclivité du caniveau, dans lequel on fait circuler de l'eau, qui se déverse par des tuyaux de vidange, dans les égouts de la ville.

Système Holroyd Smith. — Le caniveau (*fig.* 89) est constitué par des chaises en fonte de 30 centimètres de hauteur et 33 centimètres de largeur à la base; elles sont

espacées à 1 mètre de distance. La rainure CC de prise de courant est plus étroite à la partie inférieure qu'à la partie supérieure, de façon que les objets tombés ne peuvent pas

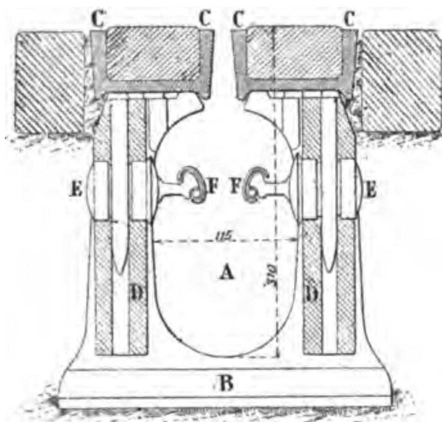


Fig. 89. — Coupe du caniveau système Holroyd Smith.

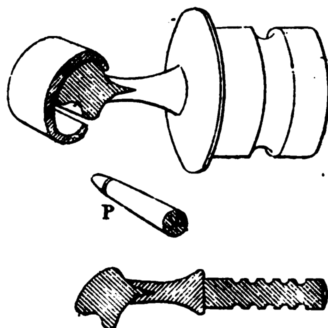


Fig. 89 *bis*. — Détail d'un isolateur.

coincer. Les parois du caniveau sont constituées par des pavés en bois créosotés.

Le conducteur souterrain FF est constitué par des tubes en cuivre, montés sur des isolateurs (*fig.* 89 *bis*). Ces tubes, d'une longueur de 11 mètres, sont reliés entre eux par des pièces en forme de coins P, qui laissent un jeu suffisant pour la dilatation du métal et éviter ainsi les ruptures. Ce système présente une particularité : les conducteurs de la ligne souterraine ont une *seule polarité*, la positive ; le retour du courant se fait par les rails de la voie de roulement qui sont reliés entre eux à la façon ordinaire. Dans une disposition nouvellement adoptée, il n'y a plus qu'un seul conducteur.

Toutes les trois chaises, il existe un regard qui permet de visiter l'isolement du conducteur souterrain. Les figures 90 et 91 donnent des coupes du caniveau en différents endroits.

La prise de courant, représentée par les figures 92 et 92 *bis*, est composée de trois pièces principales : la pièce

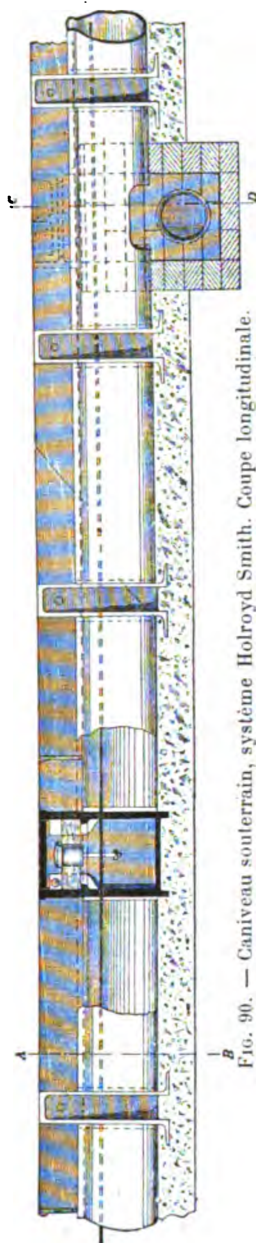
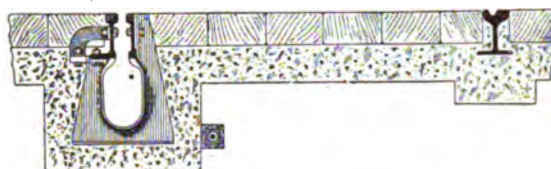


Fig. 90. — Caniveau souterrain, système Holroyd Smith. Coupe longitudinale.

centrale C, qui est réunie à deux socs nettoyeurs (afin de permettre la marche dans



Coupe transversale suivant AB.

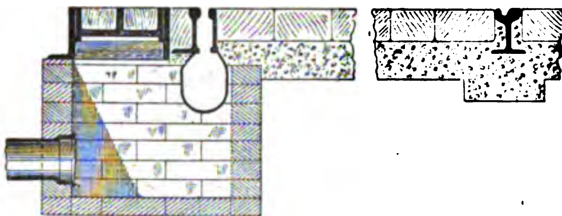


Fig. 91. — Coupe transversale suivant CD.

les deux directions) par la pièce flexible H, montée à charnières.

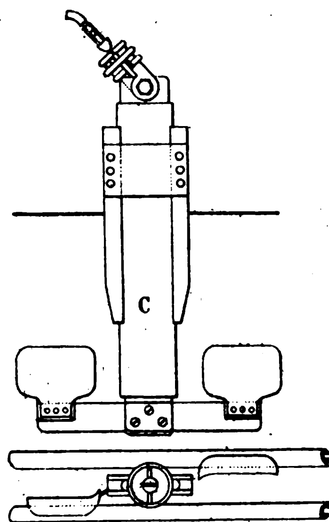


Fig 92. — Prise de courant. Élévation et plan.

La prise de courant qui amène le courant au moteur, au moyen d'un câble flexible,

est entraînée, à mesure que la voiture avance, par deux cordes très solides attachées aux socs nettoyeurs, mais qui se rompent, si l'effort de traction à faire par suite d'un obstacle est trop fort.

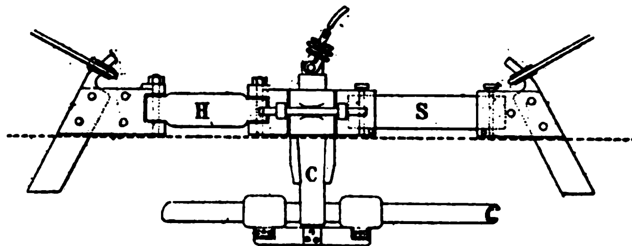


Fig. 92 *bis*. — Prise de courant.

Système Love. — Le caniveau système Love (*fig.* 93) ne présente rien de particulier, si ce n'est que le conducteur,

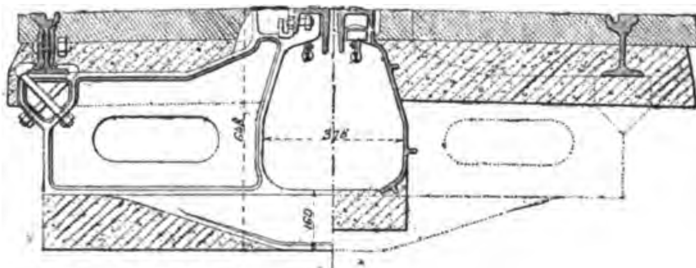


Fig. 93. — Caniveau souterrain système Love.

ou fil de travail, est suspendu à des sortes de fourches (*fig.* 93 *bis*) qui permettent la dilatation à volonté ; on évite ainsi les ruptures des isolateurs qui, dans les autres systèmes, maintiennent le conducteur rigidement lié avec eux. Ce système est installé à New-York, à Washington et à Chicago.

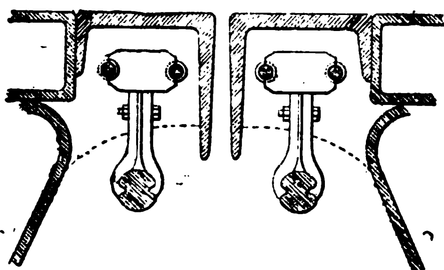


Fig. 93 *bis*. — Caniveau système Love : Détail de la suspension des conducteurs, ou fils de travail.

Système Waller-Manville. — Ce système se distingue

en ce que le conducteur souterrain est constitué par un fil flexible, supporté par des crochets isolateurs (*fig.* 94). Quand la prise de courant passe, le fil est soulevé et vient reprendre ensuite sa place sur son support. Ce système va bientôt être mis à l'essai, et l'on verra alors seulement si la simplicité de cette disposition théorique subsiste dans la pratique.

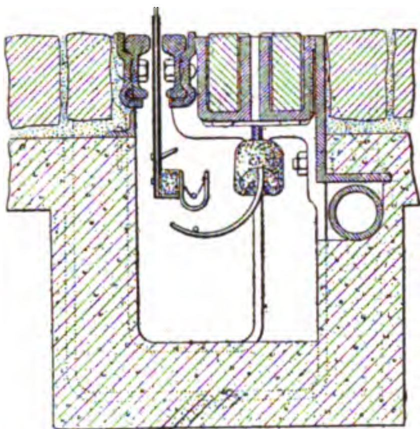


Fig. 94. — Coupe du caniveau système Waller-Manville.

Système de la General Electric C°. — Le système à caniveau Siemens et Halske a été le point de départ d'un grand nombre de types, dont le principe reste le même : les détails seuls diffèrent, c'est ainsi que nous citerons, comme caniveau ayant été pratiquement réalisé, celui qui est employé à New-York par la Metropolitan Traction C° et qui a été construit par la General Electric C° [1].

Le caniveau est semblable à celui qui est adopté en Amérique, pour la traction par câble, et dont la coupe est représentée par la figure 95.

Le fil de travail, ou conducteur souterrain, est constitué par des tubes en fer de 51 millimètres de diamètre extérieur et de 20 millimètres d'épaisseur; chaque tube a une longueur de 9 mètres, les extrémités sont réunies par des joints en cuivre ; ce fil est fixé, sur des isolateurs en porcelaine ayant une forme spéciale, par des boulons en forme de T dont la tête s'engage dans une pente oblique de 4 centimètres, pratiquée sur le tube ; il y a un certain jeu qui rend la dilatation possible. Pour fixer le boulon, on engage la tête en T dans la fente, on tourne de 90°, et le serrage se fait par l'écrou placé à l'autre extrémité (*fig.* 95 *bis*).

[1] *Génie civil*, juillet 1896.

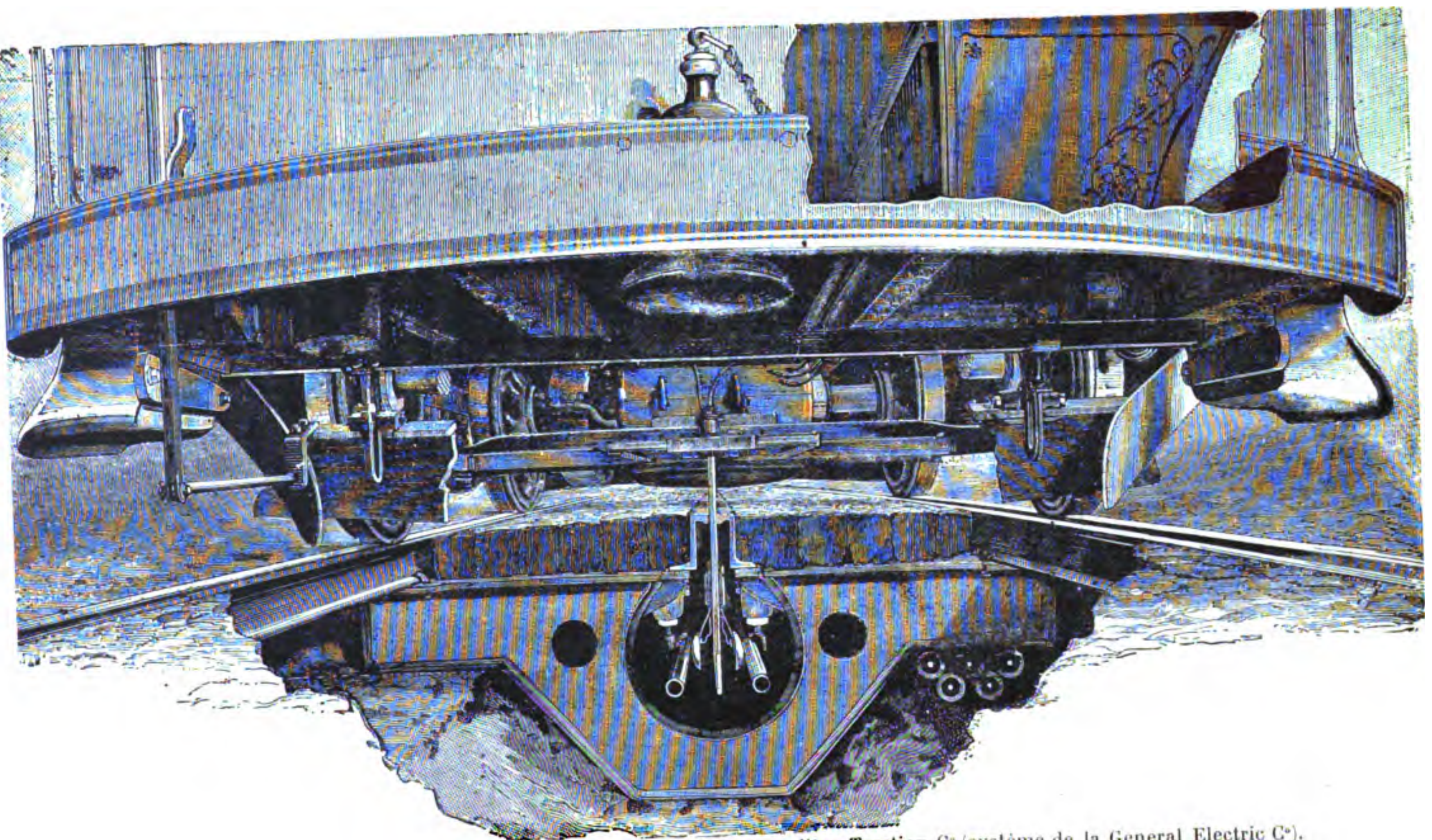


Fig. 95. — Caniveau souterrain installé à New-York par la Metropolitan Traction Cº (système de la General Electric Cº).

Nous donnerons quelques détails sur la prise de courant (*fig.* 96) : elle est constituée par deux plaques de tôle d'acier de $3^{mm},5$ d'épaisseur qui forment *armature :* ces deux plaques sont rivées sur trois réglettes en acier en laissant l'espace disponible pour loger les conducteurs qui amèneront le courant aux moteurs.

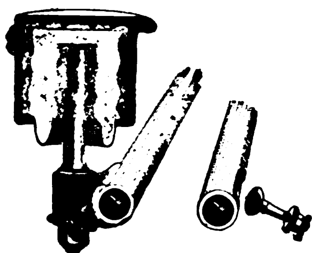


Fig. 95 *bis*. — Fil de travail ou conducteur souterrain.

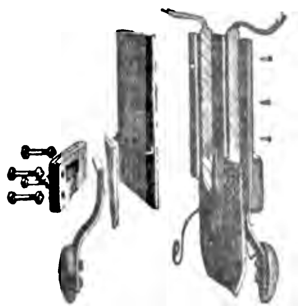


Fig. 96. — Détails de la prise de courant.

De chaque côté de l'*armature* sont fixées les semelles de contacts en fonte, qui s'appuyent sur le fil de travail au moyen de ressorts en acier, donnant une pression de 3 kilogrammes par centimètre carré.

Ce système, récemment installé, a fonctionné pendant l'hiver et a donné de bons résultats à tous les points de vue et spécialement à celui de la sécurité de l'exploitation ; ce qui, dans une grande ville à trafic important, comme New-York, est intéressant à noter. Cet exemple pourrait servir à démontrer que les inconvénients que l'on a opposés au petit caniveau ne sont pas aussi redoutables qu'on a bien voulu le dire.

Grand caniveau circulable. — Ce caniveau, dont nous avons énuméré précédemment les avantages, va être appliqué à Paris, sur la ligne allant de la place Cadet à la porte de Montmartre, par la Société d'études françaises et étrangères. A ce titre, nous en donnerons la description succincte.

Ce caniveau pour voie double (*fig.* 97 et 98) est constitué par deux chaises en fonte laissant un espace libre de 13 cen-

timètres de largeur sur 20 de hauteur pour placer le conducteur souterrain. Ces chaises sont maintenues par une entretoise de 50 × 8, pour résister à la poussée des pavés ; elles sont fixées à une même poutrelle. Les poutrelles

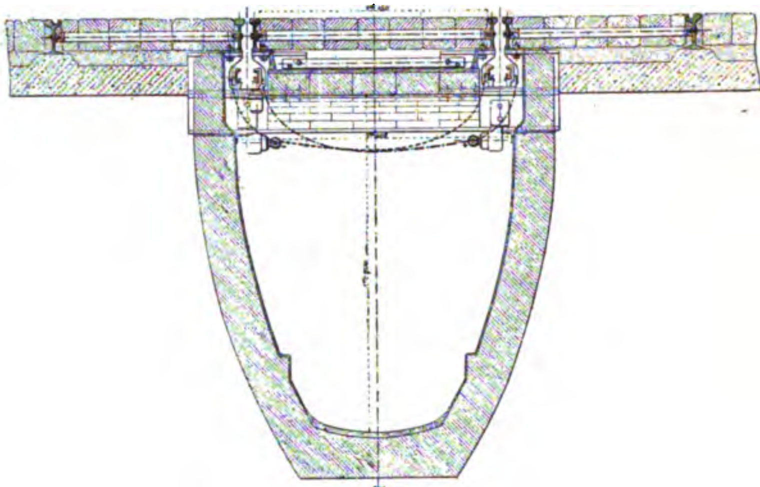


Fig. 97. — Grand caniveau circulable : Coupe transversale.

reposent, par l'intermédiaire de semelles en fonte, sur les piédroits de la canalisation du grand caniveau qui est du modèle des égouts de Paris (1^{m},70 de hauteur sous clef).

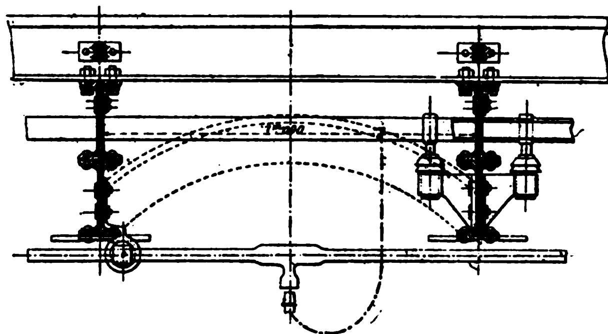


Fig. 98. — Caniveau circulable : Coupe longitudinale.

L'entre-voie est supportée par des voûtes en briques s'appuyant sur l'aile inférieure des poutrelles (*fig.* 98) ; la portée de ces voûtes est de 1 mètre.

Les conducteurs souterrains sont en acier; ils ont la forme d'un ⊐ et sont réunis, tous les 100 mètres, par des fils souples, aux feeders placés dans le caniveau. On peut rompre facilement le circuit, sur une section, au moyen d'une cheville qui établit la connexion entre le fil souple et le feeder.

A la partie inférieure de l'égout se trouve une voie de

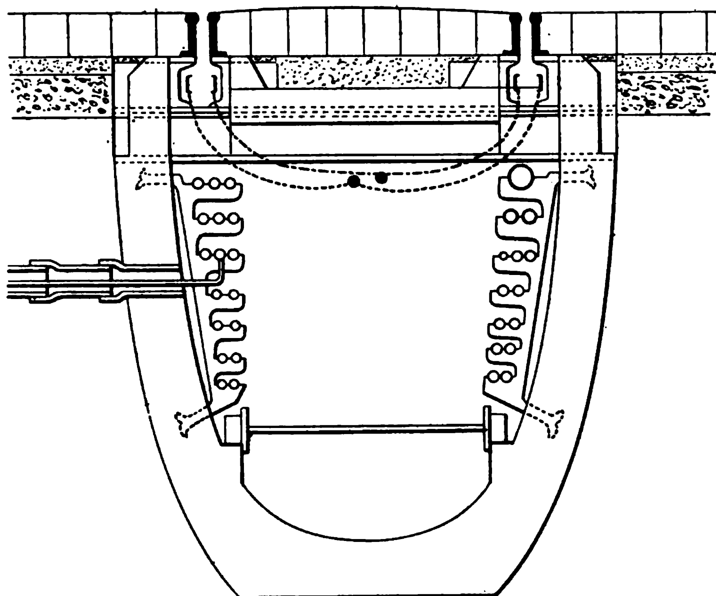


FIG. 99. — Grand caniveau servant à placer toute canalisation électrique. (Disposition Péreire et Lavezzari.)

roulement où circulera un wagonnet, mû électriquement, pour transporter les ouvriers et le matériel nécessaire aux réparations.

MM. Péreire et Lavezzari ont proposé (*fig.* 99-100) d'utiliser le grand caniveau ainsi établi, pour y installer toutes canalisations électriques, téléphoniques et télégraphiques. On diminuerait ainsi les frais de premier établissement particuliers qui incombent à chacun de ces services publics : ce qui permettrait de diminuer les charges d'amortissement et d'intérêt du grand caniveau utilisé de cette façon.

Nous remarquons, par les exemples très peu nombreux d'installation en caniveaux souterrains, combien ce mode d'exploitation de tramways électriques a de difficultés à s'implanter dans les grandes villes ; l'une des principales raisons qui font écarter ce système est le coût élevé du caniveau

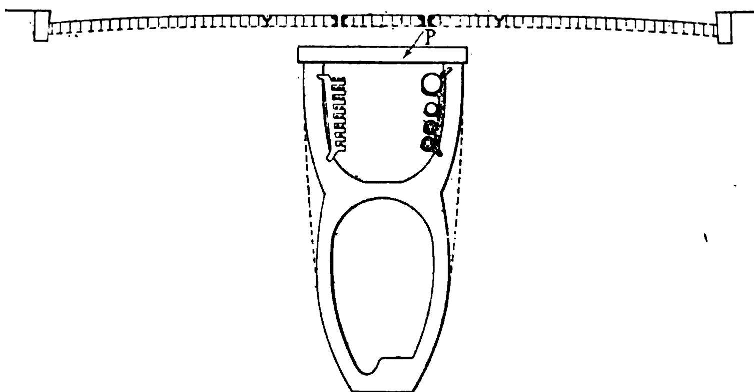


Fig. 100. — Autre disposition avec égout à la partie inférieure.

souterrain. Mais, si l'on sait que le prix d'établissement du kilomètre de voie, employant ce système, est élevé, on a assez peu de renseignements précis sur son prix exact ; nous donnerons toutefois les renseignements que nous avons pu recueillir à ce sujet.

Coût de premier établissement du caniveau souterrain et de son équipement électrique. — Suivant le système adopté, ces prix varient beaucoup, mais ce qui les distingue c'est que le prix d'établissement du kilomètre est toujours très élevé. C'est cette considération qui n'a pas permis d'appliquer ce système avantageux, pour les lignes à courte durée de concession. Comme nous le disions plus haut, on manque de données très précises sur le coût exact, dans des conditions bien déterminées, du kilomètre de caniveau équipé.

Cependant, nous indiquerons le chiffre de 64.500 francs par kilomètre de voie simple, avec superstructure empierrée, comme à Budapest. Si l'on pave les voies et entre-voies,

comme ce serait le cas à Paris, le prix du kilomètre serait alors de 80.000 à 100.000 francs. Dans ce prix, l'établissement du caniveau proprement dit et de la ligne électrique peuvent être comptés pour 30 à 35.000 francs le kilomètre.

Le prix d'établissement du grand caniveau *circulable*, tel qu'il serait établi à Paris, coûterait environ 20 à 30.000 francs de plus, par kilomètre de voie simple, soit de 120.000 à 130.000 francs. Pour donner une idée de la façon dont peut se répartir la dépense par kilomètre, nous donnons le détail du prix d'établissement obtenu à Washington : le prix du kilomètre en voie simple a été de 108.785 francs. Ce prix, pour 1 kilomètre de voie simple en alignement droit, se décompose comme suit [1]:

	francs
Rails de roulement, rails de travail avec ouverture, joints...	20.212
Rails conducteurs ou de travail	3.960
Isolateurs	825
Boulons, écrous, rondelles, entretoises, etc	2.475
Châssis de la conduite, carcasse des regards, couvercles et autres pièces en fonte de fer	15.840
Joints électriques	7.425
Excavation	710
Béton de première qualité pour la conduite	15.840
Béton de deuxième qualité pour la plate-forme	9.570
Pose de la voie, transport et voie temporaire	7.673
Pavage en asphalte, entre les rails de roulement et à 60 centimètres à l'extérieur de la voie	23.430
Prix par kilomètre de voie simple	108.785

Ce prix ne comprend pas la conduite pour le drain, ni le déplacement des égouts ou autres canalisations (eau, gaz, etc.), qui ont dû être défaites. Il ne comprend pas les aiguillages, voie de garage, ni aucun imprévu.

Le prix du kilomètre de voie tout équipée, à Blackpool, a coûté 100.000 francs. La longueur de cette ligne est de 3.200 mètres.

Quoique ces prix soient très élevés, il peut se trouver certains cas, dans la pratique, où l'établissement de la ligne souterraine ne majore pas trop le capital de premier établisse-

(1) *The Street-Railway Journal*, 1896.

ment, en comparaison de celui qui serait nécessaire pour l'établissement de la même ligne, en ligne aérienne. Cela peut tenir à des considérations très diverses, et particulières dans chaque cas spécial. C'est ainsi, qu'en comparant deux devis établis pour l'installation de la traction électrique à Bradfort, on avait la dépense totale :

1° Pour le cas de la ligne aérienne........	2 511 900 francs.
2° Pour le cas de la ligne souterraine.....	2 856 800 —

Soit un supplément de 274.900 francs.

Mais remarquons toutefois que ce cas spécial se produit rarement : lorsque, par exemple, les municipalités obligent les Compagnies à employer des poteaux métalliques luxueux et ornementés, dont le prix est élevé (20 à 25.000 francs par kilomètre pour des poteaux de résistance ordinaire), et quand le trafic intense et la configuration de la ligne obligent à employer des poteaux très résistants, placés très près les uns des autres, ce qui augmente encore le prix d'ensemble.

D. — Tramways électriques a voie sectionnée, alimentée par distributeurs

L'établissement de tramways électriques alimentés par le fil de travail aérien est pour ainsi dire impossible dans les grandes villes, par suite de raisons diverses dont la principale est le mauvais aspect des fils, qui détruisent l'esthétique des rues empruntées par ces lignes. D'un autre côté, l'établissement de la voie à caniveau souterrain est très coûteux, par suite de l'exigence des municipalités qui imposent le grand caniveau. Pour résoudre le problème de la traction électrique, dans les grands centres qui prohibaient ces deux systèmes, on a cherché un système de distribution de courant, ayant les mêmes avantages que les procédés étudiés précédemment, sans en avoir les inconvénients. Nous donnerons à ce nouveau système le nom de tramways électriques à voie sectionnée, alimentée par distributeurs. Le principe est d'alimenter des sections très courtes, égales à

la longueur d'une voiture, au moyen d'un câble principal; un distributeur spécial met le courant sur la section au passage de la voiture et le supprime, dès que la voiture est passée. Un grand nombre de dispositions ont été proposées, mais elles peuvent se ramener à deux types principaux : 1° celles qui emploient un système électro-magnétique, commandé par un courant dérivé ou des accumulateurs, pour mettre le courant sur la section considérée : système Diatto, système de la Westinghouse ; 2° celles qui emploient des distributeurs mettant directement le courant sur la section convenable, au passage du tramway : système Vuilleumier.

La principale difficulté dans ce système est d'assurer le fonctionnement du distributeur, et c'est au perfectionnement de cet appareil que s'attachent les inventeurs qui s'occupent de ces questions.

Tramways électriques à système électro-magnétique Westinghouse. — La voie de roulement est

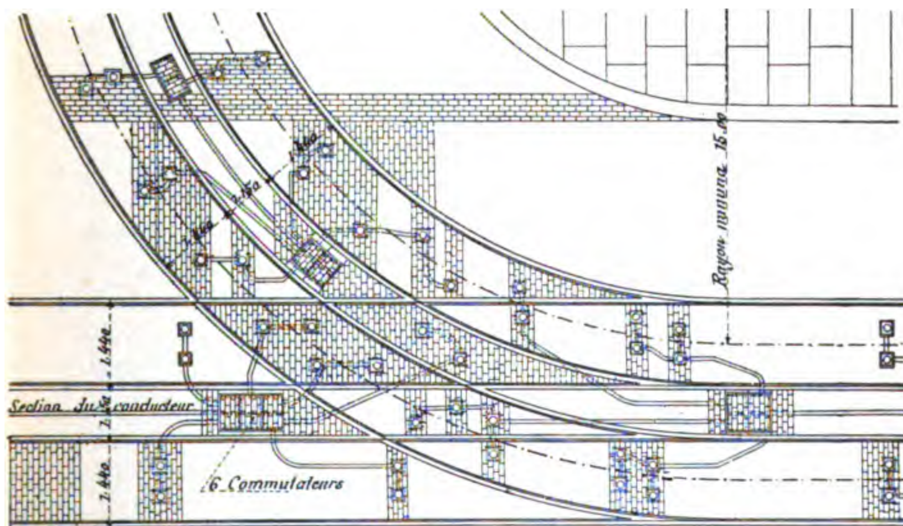


Fig. 101.

établie à la façon ordinaire : dans l'axe de la voie, tous les 3 à 4 mètres, selon la longueur des voitures employées, sont disposés deux contacts, ayant la forme de bouton métallique

(*fig.* 101). Chacun de ces contacts est relié au câble principal qui distribue le courant par le commutateur électromagnétique, placé dans l'entre-voie ou sur les trottoirs. Quand la voiture passe sur un des contacts, le courant y est envoyé de la manière suivante (*fig.* 102). Sur la voiture en circulation est placée une petite batterie d'accumulateurs P de six éléments, dont la différence de potentiel est, en moyenne, de 8 volts ; l'un des pôles de la batterie est relié à l'une des barres de contact placée sous la voiture et qui vient frotter sur le bouton métallique correspondant, et dont l'enroule-

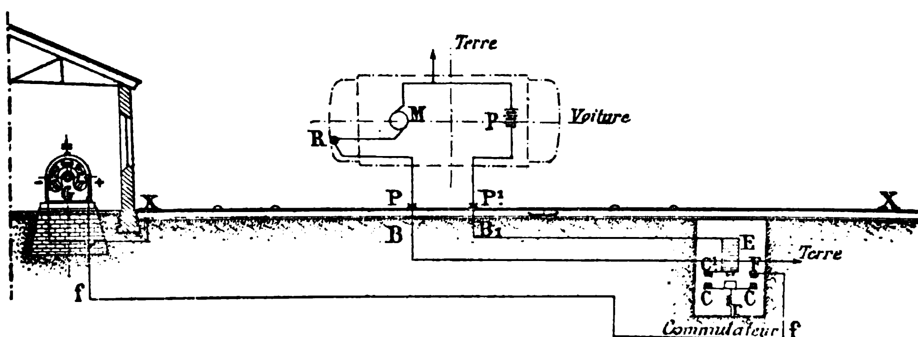


Fig. 102.

ment est relié à l'électro-aimant E du commutateur, l'autre extrémité de cet enroulement étant mise à la terre. Le courant élémentaire envoyé par la batterie passe dans l'électro au moyen d'un enroulement à fil fin, l'excite, attire l'armature C de l'électro-aimant qui ferme par le contact F le circuit du courant principal qui arrive au deuxième bouton, et se rend au controlleur pour alimenter, en passant par le gros enroulement disposé sur la bobine de l'électro-aimant, les moteurs électriques placés sur les essieux de la voiture en marche. Le retour du courant se fait par les rails, pour plus de simplicité, mais il peut se faire également par un circuit isolé ; cela nécessite une troisième barre de contact et un troisième bouton placé à côté des autres.

Quand la voiture a dépassé, en avançant, le bouton actif, le courant ne passant plus dans l'électro-aimant, le circuit

est rompu par l'armature qui revient à sa position première au moyen d'un ressort *r*.

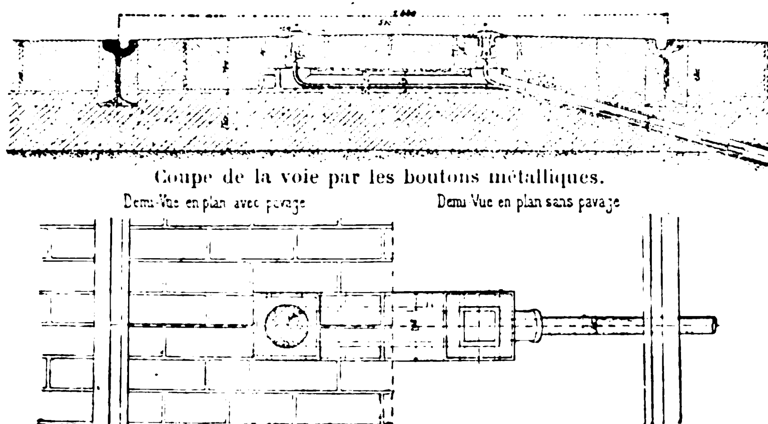


Fig. 103. — Voie équipée avec le système électromagnétique de la Compagnie Westinghouse. — Vue en plan.

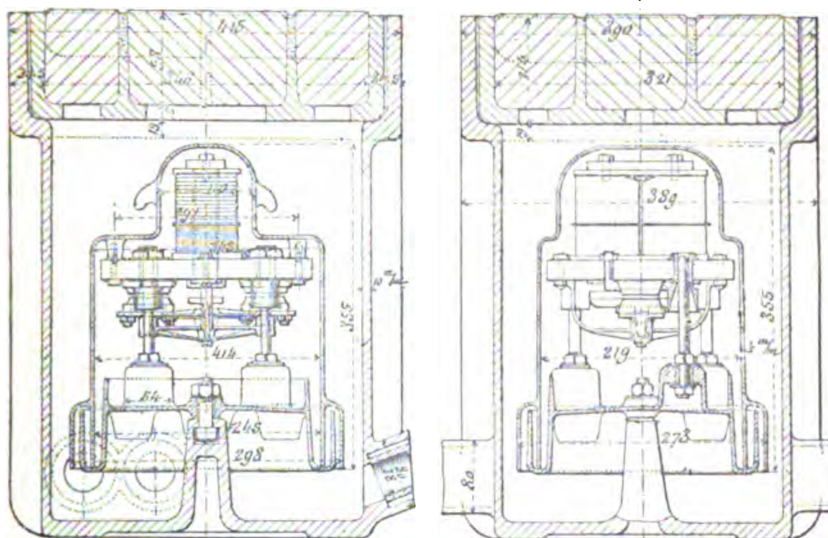


Fig. 104-105. — Commutateur électromagnétique dans son logement.

Comme on le voit, le commutateur est très simple; il est représenté dans les figures 104 à 106. Les barres de contact

de la voiture ont une longueur telle qu'elles chevauchent sur les boutons, c'est-à-dire qu'elles atteignent l'un d'eux avant de quitter celui qui précède.

Ce système, installé à Washington, a donné de très bons résultats ; M. J. Hopkinson qui a visité en détail cette instal-

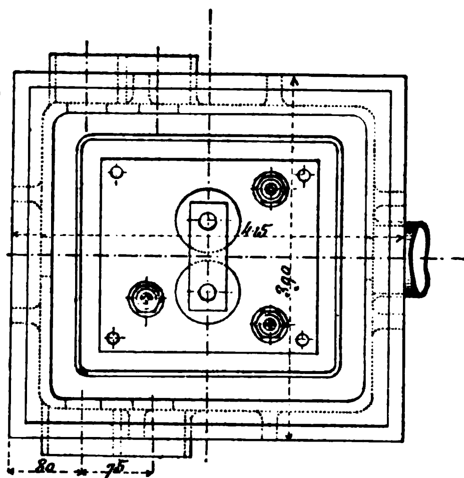


Fig. 106. — Commutateur électro-magnétique monté dans sa boîte.

lation, s'exprime ainsi dans un rapport fait à la suite de sa visite :

« J'ai examiné le tramway établi dans les usines de la Westinghouse C°, à East-Pittsburg. J'ai aussi étudié le tramway établi à Washington avec le même système.

« Ce dernier a été mis en exploitation pour le service public d'un tramway ordinaire pendant une période de plus d'une année, y compris l'hiver dernier. La caractéristique du système est qu'aucun conducteur continu électrisé n'est exposé, et ainsi il n'est nécessaire d'aucun conducteur aérien disgracieux dont l'usage est général en Amérique, ni d'aucune conduite coûteuse avec ouverture supérieure, comme celles employées à Budapest et sur d'autres lignes à Washington.

« L'expérience de Washington prouve que cette méthode d'alimentation du courant donne pleine satisfaction. Les circonstances ne sont pas favorables dans cette ville, car la voie

est très souvent humide et causerait des perturbations de courant, si cet accident était à craindre en un endroit quelconque. Lorsque je visitai la ligne, les voitures circulaient parfaitement bien et, d'après les informations que j'ai recueillies, aucun accident n'a eu lieu, même pendant les plus mauvais temps. L'étude du mécanisme commutateur m'a aussi convaincu, indépendamment du résultat obtenu à Washington, qu'une interruption de service n'est pas à craindre, quelles que soient les circonstances.

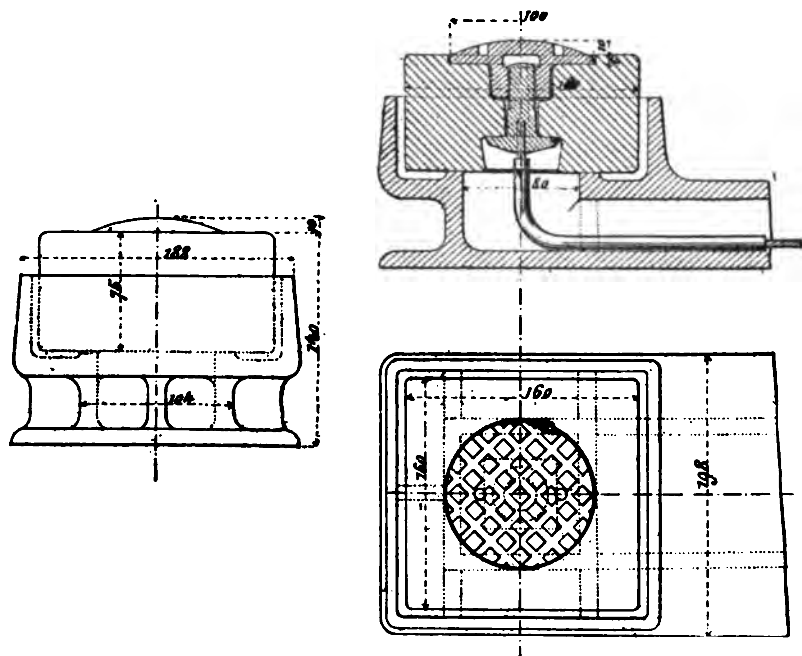


Fig. 107-109. — Bouton de contact.

« A Pittsburg, une très forte locomotive était en service; elle est assez puissante pour démontrer qu'il n'y aurait aucune difficulté à appliquer ce système à des services nécessitant des puissances beaucoup plus élevées que celles employées pour la traction des voitures de tramway.

« Les frais d'installation d'une ligne par le système Westinghouse seraient sans doute un peu plus élevés que ceux

résultant de l'installation d'un conducteur aérien ; mais ils seraient beaucoup inférieurs à ceux qu'entraîne l'établissement d'une conduite souterraine, et ses avantages sur les deux systèmes sont indubitablement très grands. Les mêmes voitures peuvent aussi faire le service sur une ligne à conducteur aérien et à contact électro-magnétique, ce qui est important lorsqu'un tramway circule en partie dans l'intérieur d'une ville où les conducteurs aériens seraient critiquables et en partie dans la banlieue où ils peuvent être admis.

« J'ai été tellement satisfait des résultats donnés par le tramway de Washington, que je n'hésiterais pas à employer ce système sur tout tramway dont j'aurais la responsabilité. »

Comme on le voit, l'opinion de M. J. Hopkinson est nettement exprimée. Il y a cependant un point qui n'est pas tranché : c'est l'entretien du grand nombre de commutateurs électro-magnétiques existant sur une ligne, puisqu'à chaque bouton métallique correspond un commutateur. De sorte que, sur une ligne à double voie de 10 kilomètres, on aurait, en supposant les commutateurs distants de 4 mètres :

$$\frac{10.000}{4} \times 2 = 5.000 \text{ commutateurs.}$$

Ce grand nombre d'électro-aimants en fonctionnement laisse à penser que leur entretien sera peut-être assez dispendieux. De plus, les chances d'arrêt sont augmentées par ce grand nombre d'appareils nécessaires, quoiqu'il faut remarquer que la voiture devrait s'arrêter justement sur l'appareil défectueux ; en général, si elle est en marche, elle franchira l'appareil détérioré par la vitesse acquise ; remarquons cependant que le moteur électrique s'accommodera mal de cette rupture brusque du circuit.

La Compagnie Westinghouse semble, du reste, avoir prévu ce cas, puisque sur chaque voiture on place un commutateur qui peut être substitué au commutateur défectueux, en quelques minutes, la manœuvre étant faite par le mécanicien et le receveur.

Quoi qu'il en soit, pour pouvoir juger de l'importance de cet entretien, il faudrait avoir en main les chiffres s'y rapportant, et, comme le système est nouvellement installé, il faut attendre pour cela que l'exploitation ait duré quelques années.

Système Diatto. — Dans le système Diatto, chaque touche métallique contient également l'appareil nécessaire à la mise en circuit. Des électro-aimants, placés sur la voiture, aimantent la barre qui vient frotter sur les touches; par induction, celle-ci s'aimante et attire une sorte de gros clou placé dans un godet à mercure où le courant principal arrive. En se soulevant, le gros clou ferme le circuit principal, le courant arrive au moteur, le retour se faisant par les rails.

Des essais de ce système sont faits actuellement à Turin, avec une voiture circulant sur une voie de 200 mètres environ. Le mécanisme simple des commutateurs semble ne donner jusqu'à présent aucune difficulté pratique.

M. Diatto estime que les frais de premier établissement du kilomètre de voie simple, équipé électriquement avec son système, varieront de 17 à 25.000 francs, mais ne seront pas supérieurs à ce dernier chiffre.

Système Vuilleumier, distributeurs automatiques. — M. Vuilleumier a imaginé un distributeur qui supprime l'emploi de batterie ; cela simplifie la voie, qui est équipée avec une seule série de contacts ou boutons métalliques placés dans l'entre-voie, le retour du courant se faisant par les rails.

Le distributeur constitue la partie principale du système. Il a la forme d'un commutateur circulaire dont le nombre de touches est égal à celui des contacts métalliques à alimenter dans une section et qui est, en général, de 20 (*fig.* 110).

Trois manettes se déplacent et correspondent à trois cercles concentriques fixés à un plateau en matière isolante ; ce plateau tourne; dans les premiers essais, il tournait sous le couple produit par la chute progressive d'un poids; dans

le nouveau modèle, ce mouvement est communiqué au moyen d'une disposition électrique.

Des trois manettes c'est celle du milieu qui distribue aux contacts le courant venant du câble principal ; les deux autres manettes, plus petites, sont disposées de façon que

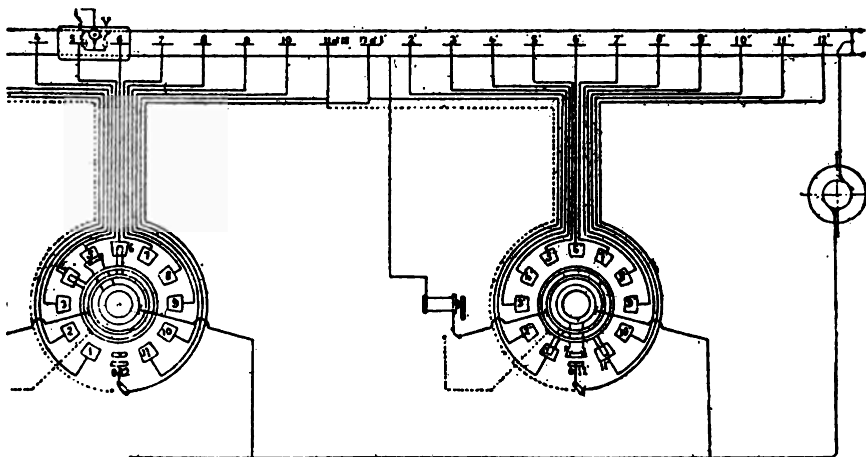


Fig. 110. — Schéma des commutateurs alimentant les sections de la ligne. (Système Vuilleumier.)

l'une d'elles s'engage sur une touche quand l'autre en quitte une ; elles sont reliées au fil d'entrée d'un électro-aimant dont le fil de sortie est mis aux rails.

Chaque touche du commutateur est reliée par un câble à un contact métallique de la voie, comme le montre la figure 107 qui représente un commutateur à 12 touches, dans lequel la voiture prend le courant au contact 5, qui est relié à la touche 5 correspondante du commutateur au moyen de la manette principale ; le courant est rompu au contact 4, mais va être mis au contact 6, le plateau tourne d'un douzième de tours et les manettes vont avancer respectivement d'une touche, ce qui permettra à la voiture d'avancer également. Quand les touches du distributeur de gauche seront près d'être toutes parcourues, c'est le distributeur de droite qui fonctionnera.

Le courant est pris sur les contacts métalliques de la voie

au moyen de deux curseurs placés à l'avant et à l'arrière de la voiture (*fig.* 111 à 113). Ces deux curseurs sont reliés au même câble qui amène le courant au contrôleur et de là aux moteurs électriques.

Dans les premiers essais, les curseurs, en frappant les pavés métalliques, faisaient un bruit assez désagréable que l'on a atténué sans le supprimer; l'usure des curseurs, et des pavés métalliques semble être assez faible.

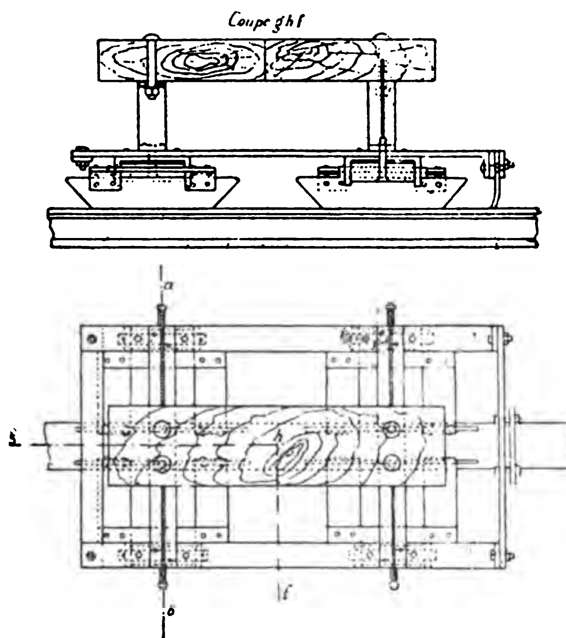


Fig. 111-112. — Détails de la prise de courant.

Ce système présente des particularités de détails très intéressantes pour vaincre certaines difficultés : marche en arrière, arrêt éventuel des distributeurs, etc.; nous n'insisterons pas sur tous ces détails que l'on trouvera dans un article très étendu de M. Jacquin [1].

Ce système de tramways, dont les premiers essais ont été

(1) *Lumière électrique*, nos 23 à 25, 1896.

faits, en 1894, à l'Exposition de Lyon (*fig.* 114) fonctionne régulièrement à Paris, sur la ligne de la place de la République à Romainville.

L'installation de ce système est trop récente pour pouvoir dire si l'exploitation en sera économique; *a priori*, elle semble devoir l'être, si l'entretien des commutateurs n'est pas trop coûteux. Comme nous le faisions remarquer plus haut, dans le cas des commutateurs électro-magnétiques Westinghouse, l'inconnu est dans cet appareil. Il faut bien dire que dans le système Vuilleumier les commutateurs sont bien moins nombreux que dans le système Westinghouse; mais, par contre, ils sont plus compliqués.

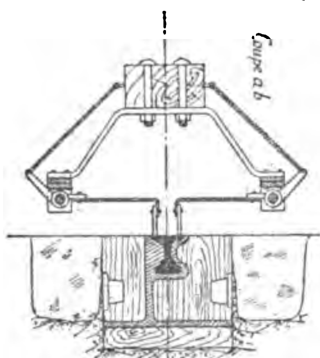


Fig. 113. — Coupe de la prise de courant suivant *ab*.

Pour les mêmes raisons, expliquées plus haut, c'est la pratique seule de quelques années d'exploitation qui pourra fixer les intéressés sur ce sujet.

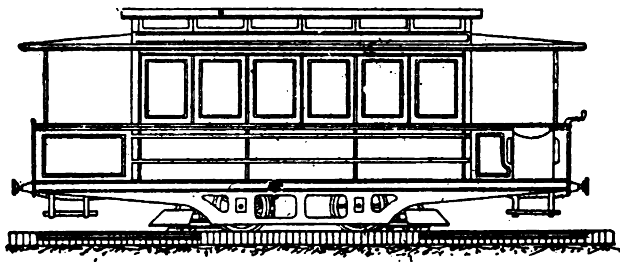


Fig. 114. — Voiture à prise de courant sur ligne sectionnée (Lyon, 1894).

En attendant, espérons que cet ingénieux principe se perfectionnera et qu'on imaginera un commutateur simple pouvant alimenter un grand nombre de sections, ce qui sera la solution définitive de ce procédé.

CHAPITRE IV

MATÉRIEL ROULANT

Définition. — Moteurs électriques : considérations générales, rendement. — Connexions des moteurs électriques : diagrammes schématiques. — Appareils de manœuvre : controlleurs. — Trucks : descriptions générales. — Divers types. — Trolley : différents systèmes de trolley. — Trolley à navette, à roulettes, trolley à archet, trolley système Walker et autres. — Frein et freinage des voitures : considérations générales. — Frein électrique, frein à corde, à main — Frein à air comprimé. — Appareils protecteurs contre les accidents des personnes : fenders, divers types ; leur efficacité. — Eclairage des voitures. — Chauffage des voitures : chauffage électrique et autres systèmes. — Entretien et conduite des voitures de tramways. — Entretien des moteurs électriques et des appareils de manœuvre. — Considérations sur la conduite des tramways électriques. — Entretien de la voie : balayage, arrosage, enlèvement des neiges. — Application des courants alternatifs à la traction électrique.

Nous comprenons sous ce titre tout ce qui se déplace sur la voie ; en l'espèce, nous n'avons à considérer que la voiture de tramway et ses accessoires. Nous examinerons d'abord l'élément principal, puisque c'est celui qui effectue la propulsion de la voiture : c'est le moteur électrique. Ensuite nous parlerons du truck et de la caisse, des appareils de mise en marche, du trolley et des divers accessoires qui trouvent leur place sur les voitures de tramways électriques.

Moteurs électriques. — Les moteurs électriques employés pour les tramways électriques sont presque tous des moteurs enroulés en série. Ces moteurs sont, en effet, d'une

conduite plus facile et plus simple, pour ce cas particulier. Les moteurs électriques employés en traction doivent présenter toutes les qualités des moteurs employés dans l'industrie, trie, et ils doivent, de plus, posséder certaines qualités spéciales: par exemple, celle de pouvoir supporter une sur-

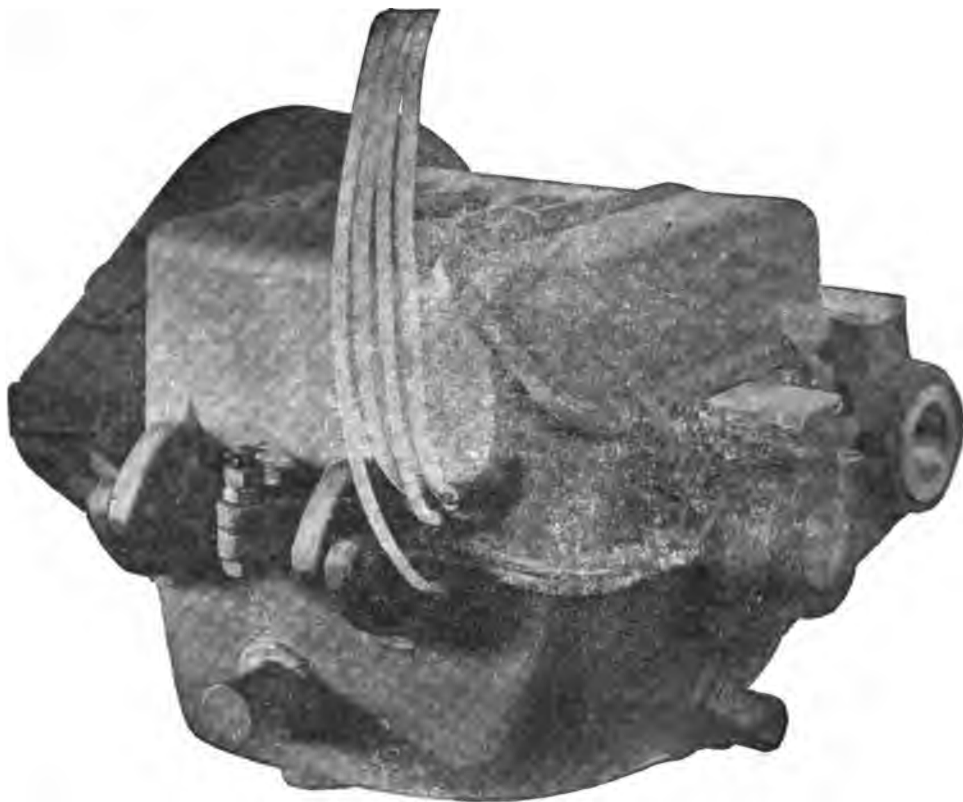


Fig. 115. — Moteur Thomson-Houston, type G. E. 800.

charge importante, et cela sans échauffement, pour prévoir le cas pratique où l'un des deux moteurs, placés sur la voiture, viendrait à manquer pour une cause ou une autre.

On admet généralement qu'un moteur doit supporter une surcharge de 25 pour cent sans échauffement notable. C'est ainsi qu'un moteur développant un effort de 400 kilogrammes à 16 kilomètres à l'heure, avec des roues de

1 mètre, peut développer jusqu'à 650 kilogrammes dans les mêmes conditions.

L'isolation des bobines inductrices, et spécialement celle de l'induit, devra être particulièrement soignée : le bon rende-

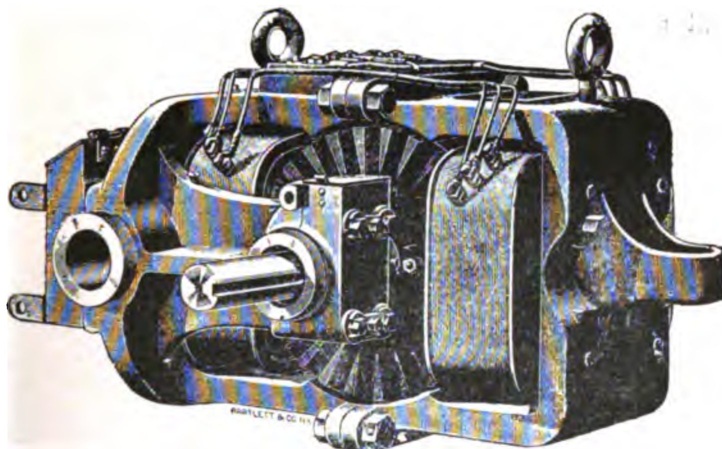


Fig. 116. — Moteur Edison, à simple réduction.

ment électrique du moteur en dépend : une isolation soignée évitera de mettre trop tôt le moteur hors service, par suite

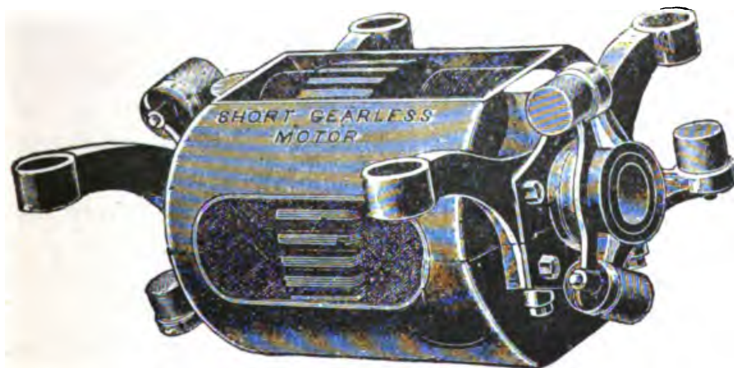


Fig. 117. — Moteur Short.

de la destruction de l'isolation, généralement produite par les trépidations et les secousses inévitables, qui se transmettent aux essieux moteurs, et dues au plus ou moins

bon état d'entretien de la voie de roulement. Remarquons que cette isolation est plus facilement obtenue avec les moteurs enroulés en série qu'avec ceux enroulés en dérivation dont ils ne diffèrent, en général, que par des détails de construction. Remarquons, en passant, que tous ces moteurs sont enfermés dans des carcasses en métal pour les protéger contre la poussière.

Presque tous les moteurs électriques appliqués à la traction électrique ont des balais en charbon qui permettent de changer le sens de rotation sans inconvénient.

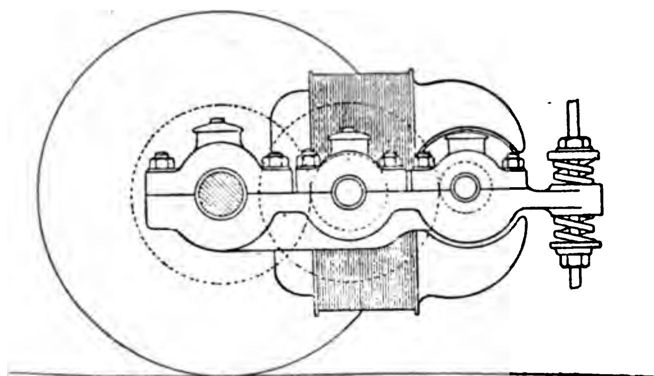


FIG. 118. — Moteur Sprague, avec sa suspension.

Nous n'insisterons pas sur le détail de chaque moteur en particulier :

Nous donnons, dans les figures 115 à 119, les principaux moteurs électriques employés en pratique.

Disons, en terminant, que la principale qualité d'un moteur électrique est d'avoir un bon *rendement total*, tant au point de vue électrique qu'au point de vue mécanique (engrenages de réduction).

Le *rendement total* d'un bon moteur est de 75 pour cent de l'énergie transmise à ses bornes. Dans ce rendement total, le rendement électrique est compté pour 85 pour cent : le rendement de la partie mécanique, soit 88 pour cent, est la différence.

Les pertes électriques donnant ce rendement, pour un

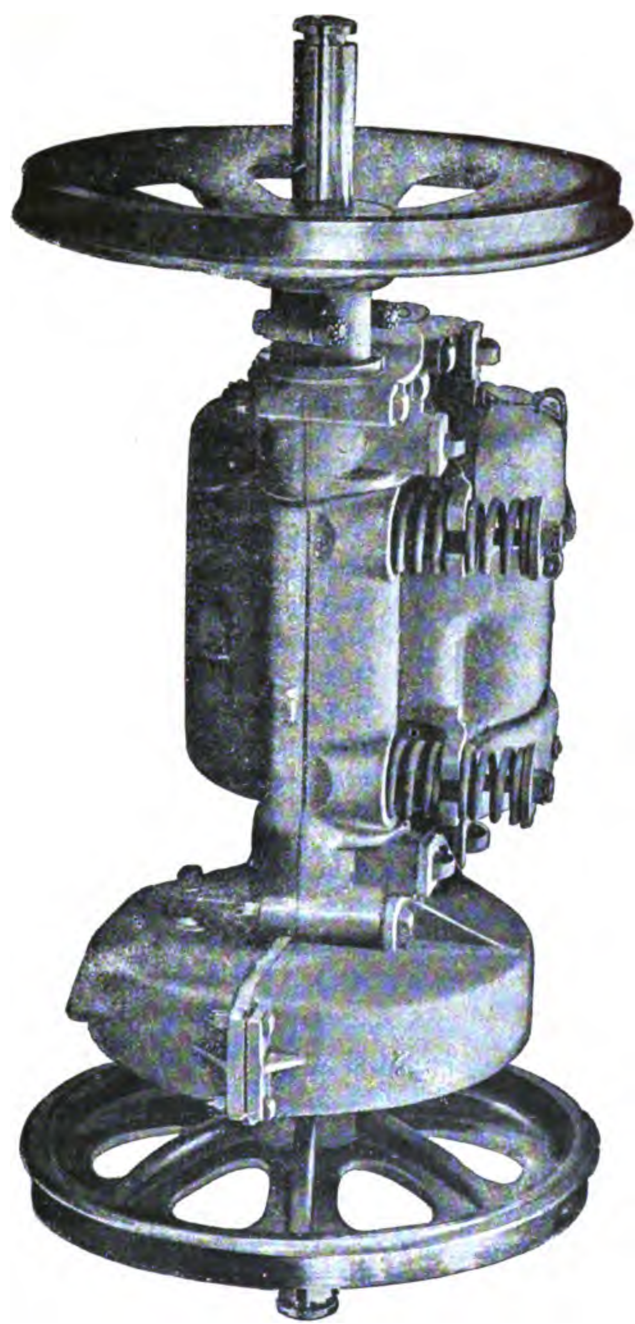


Fig. 119. — Moteur système Walker.

moteur de 20.000 watts, peuvent se décomposer comme suit :

Perte mécanique....................	700 watts
Perte dans les inducteurs............	1.200 —
— l'induit.................	1.000 —
	2.900 watts

Soit un rendement de $\frac{20.000 - 2.900}{20.000} = 85$ pour cent.

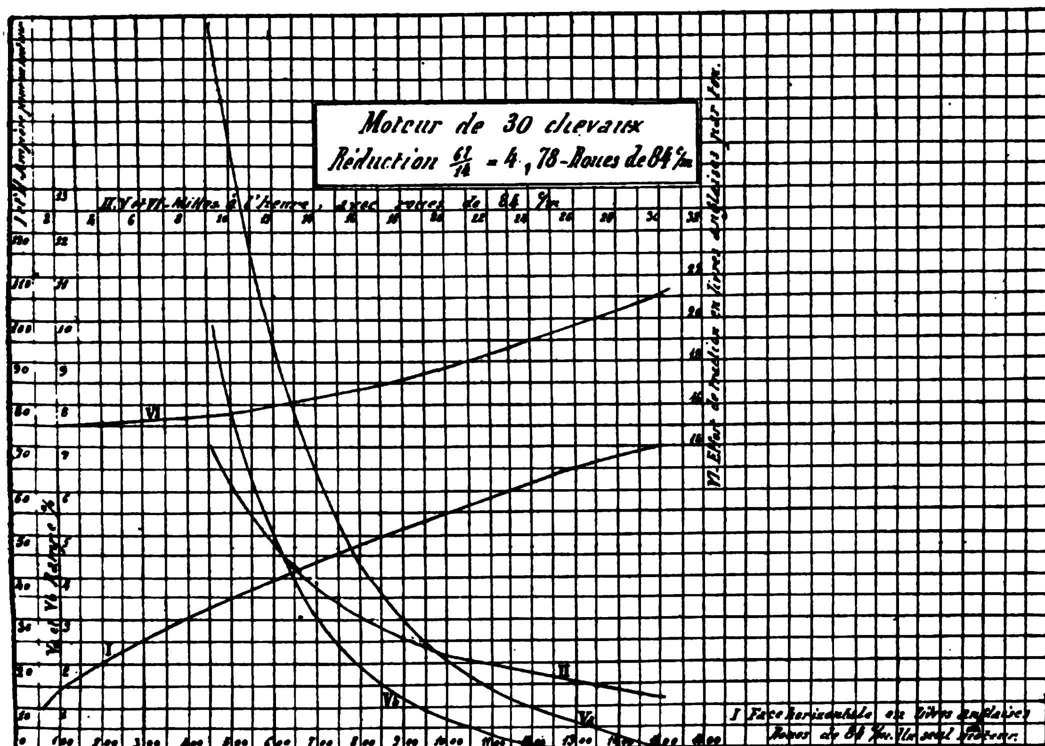
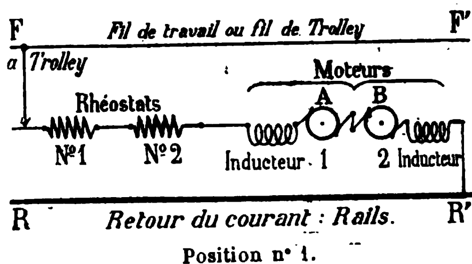


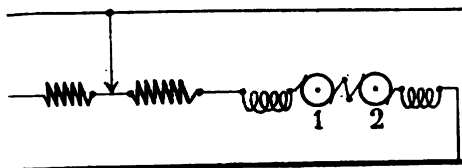
Fig. 120. — Courbe de rendement d'un moteur Walker de 30 chevaux.

Les courbes de la figure 120 donnent les résultats obtenus sur un moteur Walker de 30 chevaux dans différentes conditions de marche.

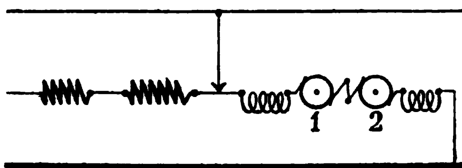
Connexion des moteurs électriques. — Pour expliquer comment on met en marche un tramway électrique



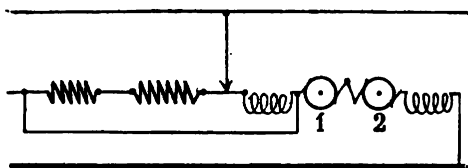
Position n° 1.



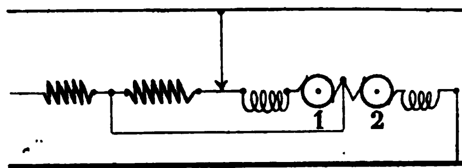
Position n° 2.



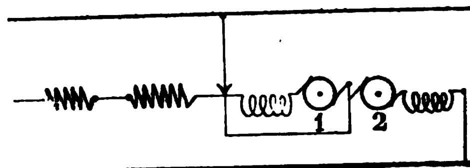
Position n° 3.



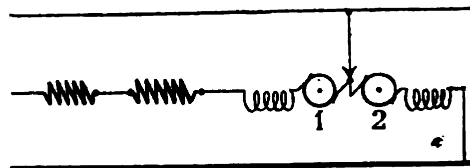
Position n° 4.



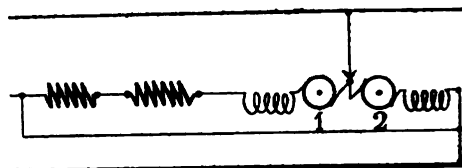
Position n° 5.



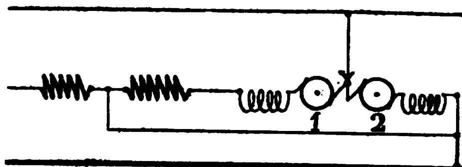
Position n° 6.



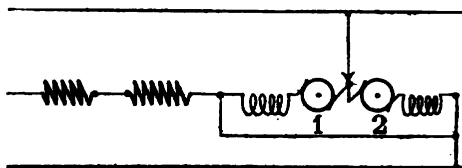
Position n° 7.



Position n° 8.



Position n° 9.



Position n° 10.

Fig. 121 à 130.
Schémas des différentes connexions correspondant aux manœuvres d'une voiture de tramway à deux moteurs. Mise en marche, en vitesse, arrêt.

et quelles sont les diverses combinaisons de connexions et groupements des moteurs, prenons l'exemple suivant, qui est l'un de ceux qu'on rencontre dans la pratique.

Les deux moteurs n° 1 et n° 2 sont excités en série : le schéma des connexions est représenté par les figures 121 à 130. En FF′ est le fil de travail ; *ab* est le trolley ; en RR′, les rails ; les moteurs en série A et B sont représentés schématiquement avec leurs inducteurs et les résistances n° 1 et n° 2.

Au démarrage, on intercale les deux résistances n° 1 et n° 2, et le schéma des connexions, à ce moment, est celui de la position n° 1. Ces résistances limitent à volonté l'intensité du courant que l'on veut envoyer dans les moteurs ; si elles n'existaient pas, l'intensité du courant prendrait une valeur très grande et dangereuse, car, à ce moment, la force contre-électromotrice du moteur est nulle, et on aurait presque un court-circuit.

Dès que le tramway commence à rouler, on supprime la résistance n° 1 : ce groupement est indiqué dans la position n° 2. Les moteurs électriques atteignent ainsi peu à peu leur vitesse normale.

A ce moment, pour éviter une perte d'énergie, on supprime la résistance n° 2, et on a le groupement de la position n° 3 : c'est celle qui correspond à la marche normale du tramway.

Si l'on veut augmenter la vitesse, on shunte les inducteurs du moteur n° 1 : c'est le groupement des positions n°s 4 et 5. Si l'on veut ne plus marcher qu'avec un seul moteur, le n° 2 par exemple, l'on exécute les groupements indiqués par les positions 5, 6 et 7 ; dans cette dernière position la manœuvre est terminée, et le moteur n° 2 reste seul en circuit.

Les groupements des positions 8, 9 et 10 sont faits quand on veut arrêter le tramway ; les inducteurs des deux moteurs sont d'abord shuntés (position 8 et 9) et mis ensuite en court-circuit (position 10) ; ils ne peuvent donc plus tourner, puisque l'excitation ne se fait plus.

En résumé, tous ces groupements se réduisent à trois manœuvres bien distinctes :

Première manœuvre : positions 1, 2 et 3: mise en marche du tramway qui atteint sa vitesse normale ;

Deuxième manœuvre : positions 4, 5, 6 et 7 : suppression d'un moteur ;

Troisième manœuvre : positions 8, 9 et 10: arrêt progressif de la voiture.

Ces groupements sont faits au moyen d'un appareil spécial,

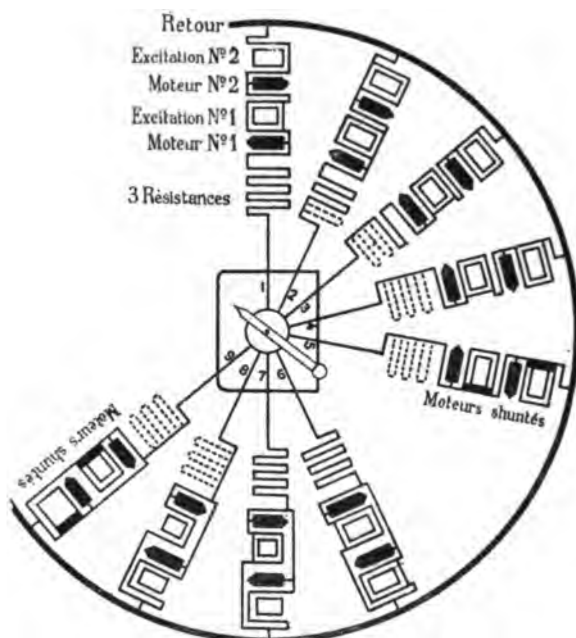


Fig. 131. — Disposition schématique faisant comprendre le mouvement du controlleur.

auquel on a donné le nom de « *controlleur* ». Cette dénomination est assez impropre, il serait plus exact de l'appeler *régulateur*. Nous donnerons plus loin la description de cet appareil, dont les types sont assez variés, mais dont le mode de fonctionnement est toujours le même et basé sur les principes expliqués ci-dessus.

Une autre disposition schématique (*fig*. 131) permet de se rendre compte bien clairement des différentes connexions faites par le controlleur, et se rapporte exactement aux positions

successives que prend la manette d'un controlleur quelconque.

Le courant arrive au pivot du commutateur ; dans la position n° 1, le courant passe d'abord par les trois résistances, par l'armature du moteur n° 1, par le champ de ce même moteur, puis par l'armature du moteur n° 2, par le champ de ce moteur, et, enfin, ressort par les rails de la voie : les deux moteurs sont *en série*.

Dans la position 2, on enlève l'une des résistances : les autres connexions restent les mêmes.

On accélère ainsi la vitesse des moteurs.

Dans les positions 3 et 4, on enlève successivement la deuxième et la troisième résistance : la vitesse s'accélère de plus en plus.

Dans la position 5, les résistances sont encore enlevées, mais on shunte les champs d'excitation des deux moteurs : on évite ainsi toute perte d'énergie dans les résistances.

Dans la position 6, le courant passe par les trois résistances, mais les moteurs sont groupés en *dérivation*.

Dans les positions 7 et 8, les moteurs restent groupés en dérivation, mais on enlève successivement les trois résistances : ce qui évite le gaspillage d'énergie comme précédemment.

Dans la position 9, qui est la dernière, les résistances sont toujours hors circuit et les moteurs sont encore en dérivation, mais avec les champs d'excitation shuntés.

Appareils de manœuvre. — *Controlleur.* — L'appareil de mise en marche a conservé, en France, son nom américain de *controlleur* (controller). Cet appareil est destiné à faire varier la vitesse de la voiture et à exécuter les différentes manœuvres nécessaires au service : mise en marche, vitesse normale, ralentissement, arrêt, marche en arrière.

Pour faire varier la vitesse, l'on applique, en général, le principe qui consiste à shunter l'enroulement des inducteurs au moyen de résistances.

Cette disposition est très simple, mais elle a l'inconvénient de nécessiter une perte d'énergie électrique qui est absorbée dans les résistances.

On emploie quelquefois la disposition indiquée par M. Sprague, qui consiste à sectionner les inducteurs et à introduire, dans le circuit, une ou plusieurs de ces sections, qui, faisant varier plus ou moins l'excitation, font varier la vitesse dans le rapport inversement proportionnel; cette disposition, représentée schématiquement dans la figure 133, est simple en théorie, mais elle complique les dispositions des connexions aux inducteurs et au controlleur, aussi est-elle assez rarement employée, surtout en Europe.

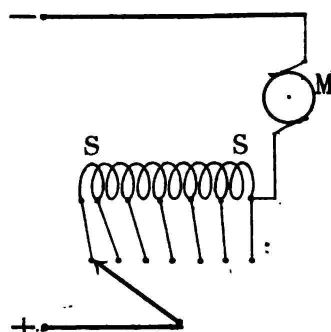


Fig. 132. — Disposition schématique du système Sprague.

D'une façon générale, si l'on examine un controlleur, l'appareil se compose de deux cylindres : un grand et un petit (*fig.* 133 à 138). Sur le grand sont montés un certain nombre de segments en cuivre sur lesquels vient s'appuyer une palette de contacts en cuivre, et à laquelle est attaché le câble qui, venant du moteur, introduit ainsi les résistances nécessaires. Le nombre de touches du controlleur peut varier de 8 à 15.

Le mouvement de rotation du cylindre est commandé par une manivelle. En considérant un tour complet, on produit: 1° la mise en marche du moteur, c'est-à-dire de la voiture, en introduisant en série toutes les résistances pour le démarrage; 2° en enlevant successivement ces résistances, la vitesse commence à augmenter; 3° pour accélérer la vitesse, l'on shunte progressivement les inducteurs, et à ce moment la vitesse est maxima. Les manœuvres inverses sont exécutées pour le ralentissement et l'arrêt de la voiture.

Le deuxième cylindre, qui est plus petit, sert à renverser la marche, en inversant le courant dans les moteurs; quelquefois, les touches de ce cylindre sont disposées de façon à transformer les moteurs en génératrice, qui servent alors comme frein électrique: l'énergie ainsi produite est absorbée par les résistances de démarrage. On pourrait également

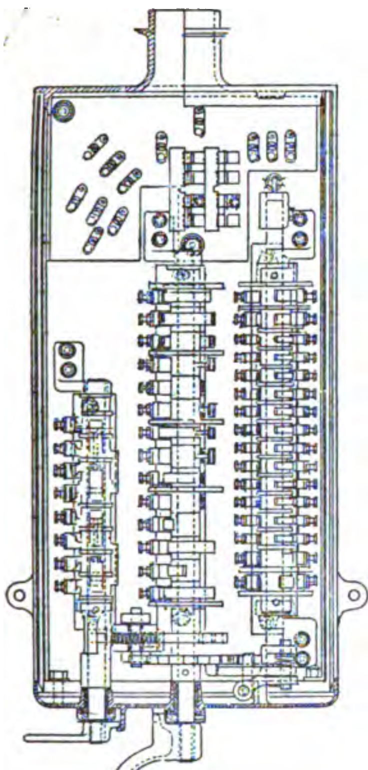


Fig. 133. — Élévation.

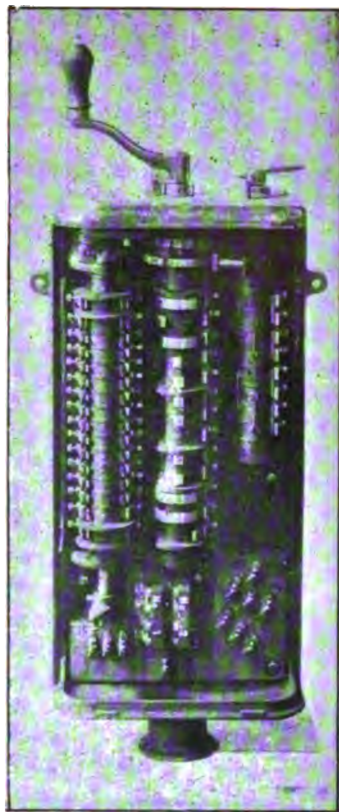
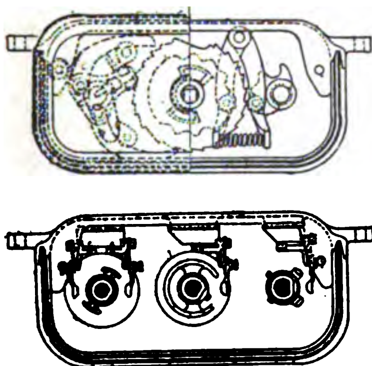


Fig. 136. — Vue d'ensemble du controlleur de la Compagnie Walker.



Coupe par le milieu.

Fig. 134-135.— Vue en plan.

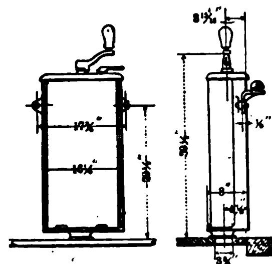


Fig. 137. — Dimensions du controlleur Walker.

employer ce dispositif pour récupérer l'énergie électrique dans les pentes dont l'inclinaison est suffisante, et grouper

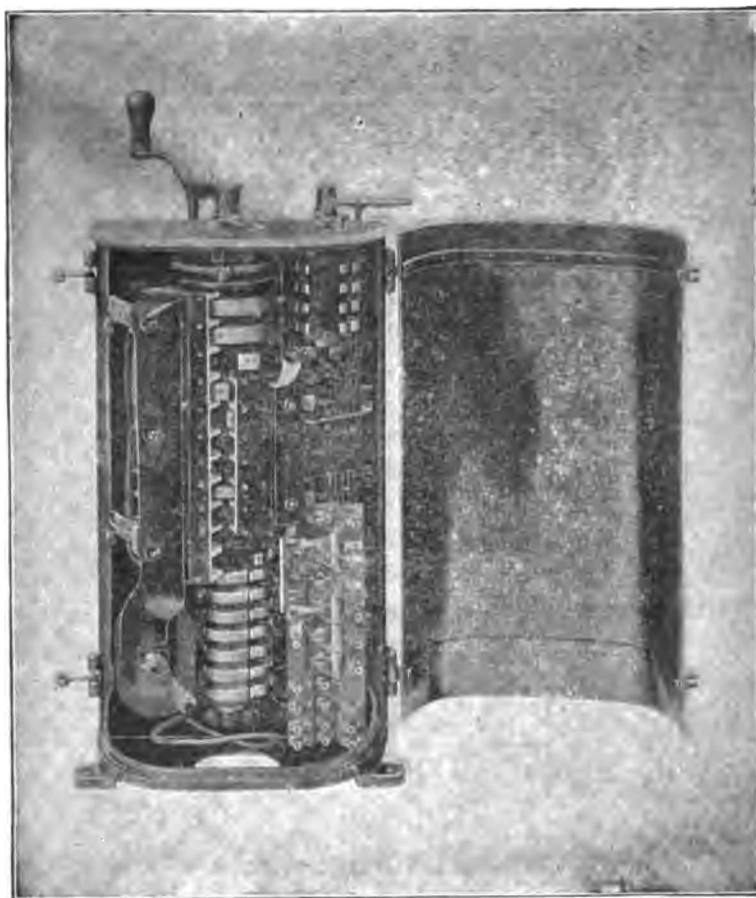


Fig. 138. — Vue d'ensemble du controlleur de la Compagnie Thomson-Houston.

ainsi les moteurs de la voiture, transformés pour le moment en génératrices, avec les machines génératrices de la station centrale.

Nous donnons, dans les figures 134 et 135, les schémas des connexions d'un controlleur avec deux moteurs enroulés en

série. Voyons comment se fait, par la manœuvre de la manette du controlleur, les différents groupements corres-

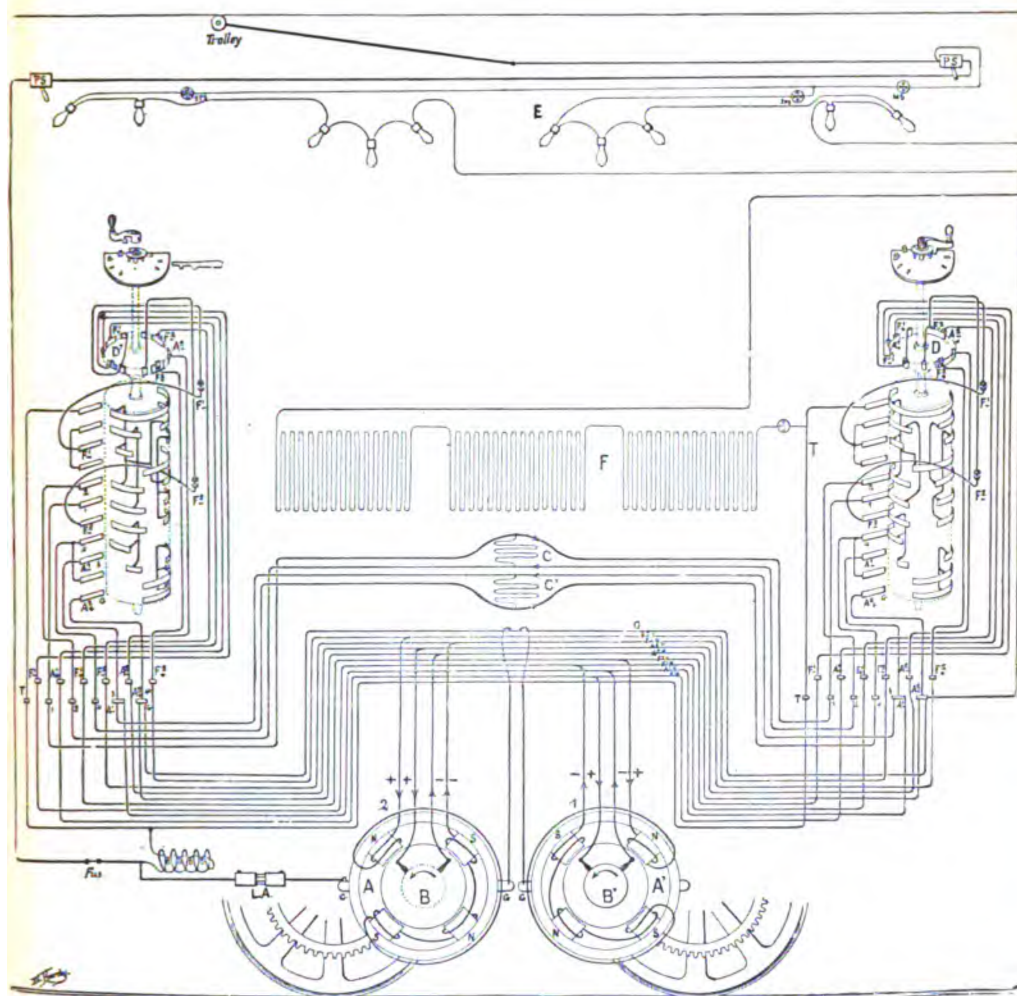


Fig. 139.

pondants aux diverses phases de la marche d'un tramway électrique.

(1) *Electricien*, n° 274, 1896.

Le controlleur étant dans la position de la figure 139, le courant arrive en T (coupleur de droite) : il va à la résistance C par l'intermédiaire du fil 2 et revient au commutateur inver-

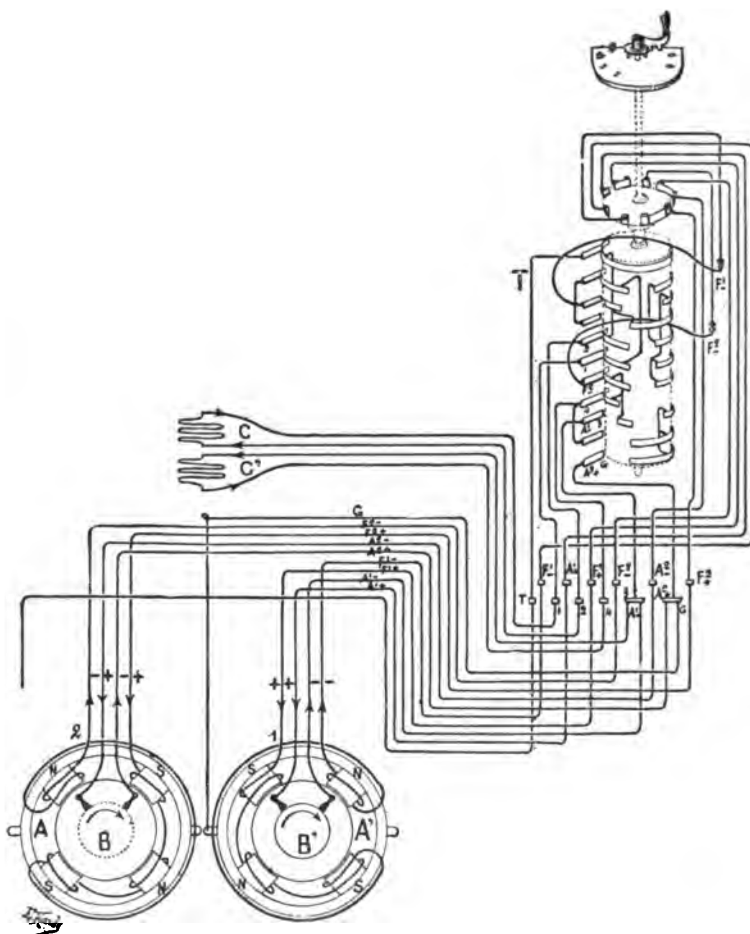


Fig. 140.

seur par le fil 1. Les inducteurs du moteur B' sont excités par le fil F' (pôle négatif); le courant revient par F' (pôle positif) au commutateur, et, de là, va à l'induit du moteur B' par A' (pôle posititif); ce courant revient ensuite à la résistance C' par le fil A' (pôle négatif) et au coupleur au contact 4. C'est

la première partie de la manœuvre. Pour mettre le second moteur B en circuit, l'excitation des inducteurs de ce moteur est faite par le courant qui part du contact F^2 (pôle négatif),

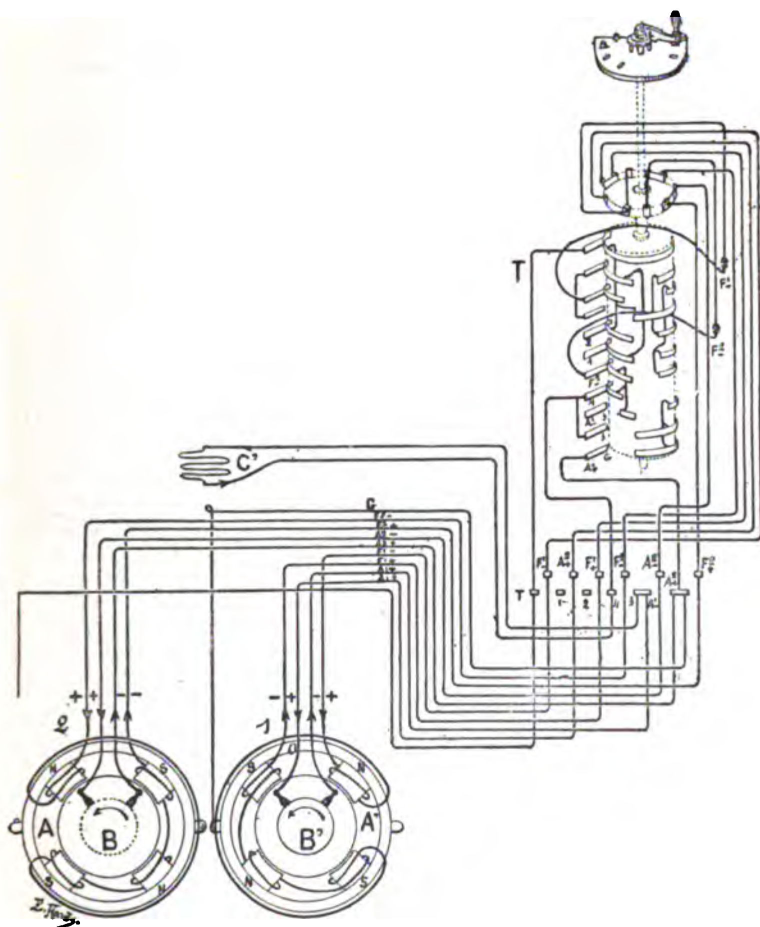


Fig. 140 *bis*. — Manœuvre supprimant la résistance G.

va au moteur et revient par F^2 (pôle positif) au commutateur ; il se rend ensuite à l'induit de ce même moteur par le fil A^2 (pôle négatif) et revient par le fil A^2 (pôle positif) qui est en contact avec les essieux et les roues de voiture et est mis par le fil G aux rails de retour de courant.

Cette manœuvre comprend donc la mise en service de deux moteurs, dont on accélèrera ou diminuera la vitesse en mettant en circuit plus ou moins de résistance, et cela au

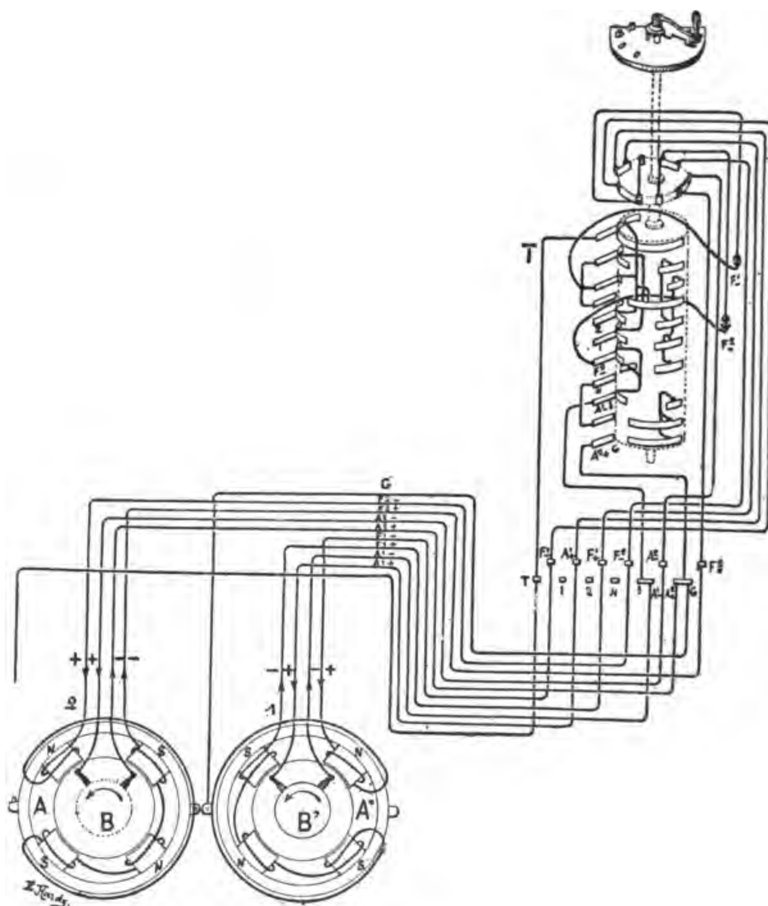


FIG. 141. — Manœuvre supprimant les deux résistances G.

moyen de la manette, qui enlève ces résistances au fur et à mesure.

Nous indiquerons également comment se fait le renversement de marche des moteurs. Le schéma est celui de la figure 140.

Le courant, arrivant en T, passe par le contact 2 du controlleur et va à la résistance C ; il revient au commutateur par le contact 1 et par le fil F′ (pôle négatif). Ensuite le courant

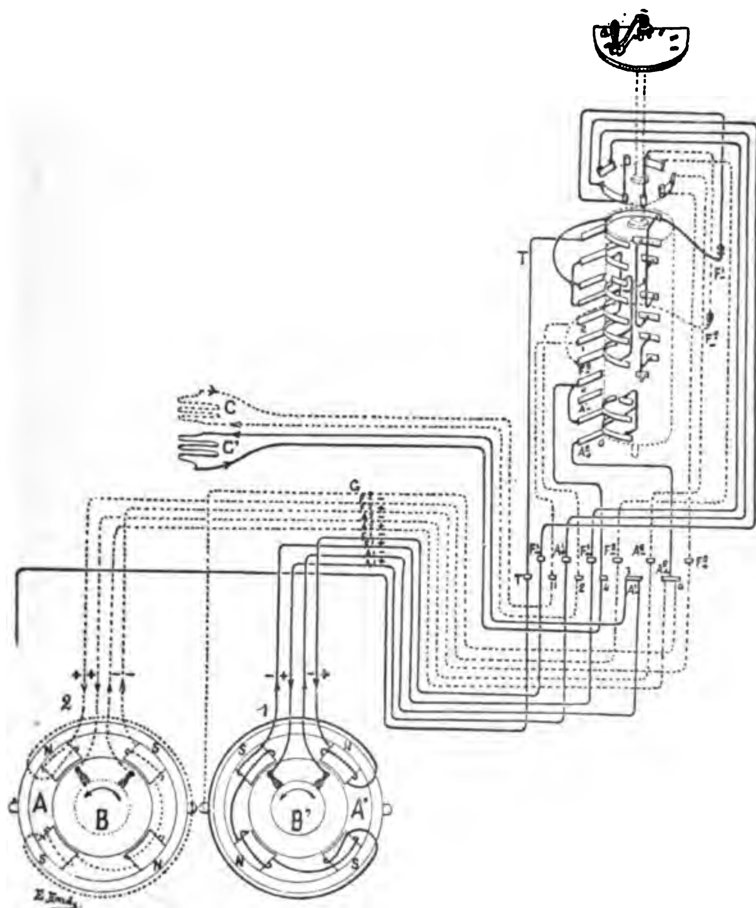


Fig. 141 *bis.* — Manœuvre mettant les deux moteurs en parallèle entre eux et en série avec la résistance.

passe par F^2 (pôle positif), traverse l'induit du moteur B′, revient au controlleur et, de là, à l'induit par le fil A′ (pôle positif). Le courant traverse ensuite la résistance C′, le contact 4, revient au contact F^2 (pôle négatif), puis va exciter

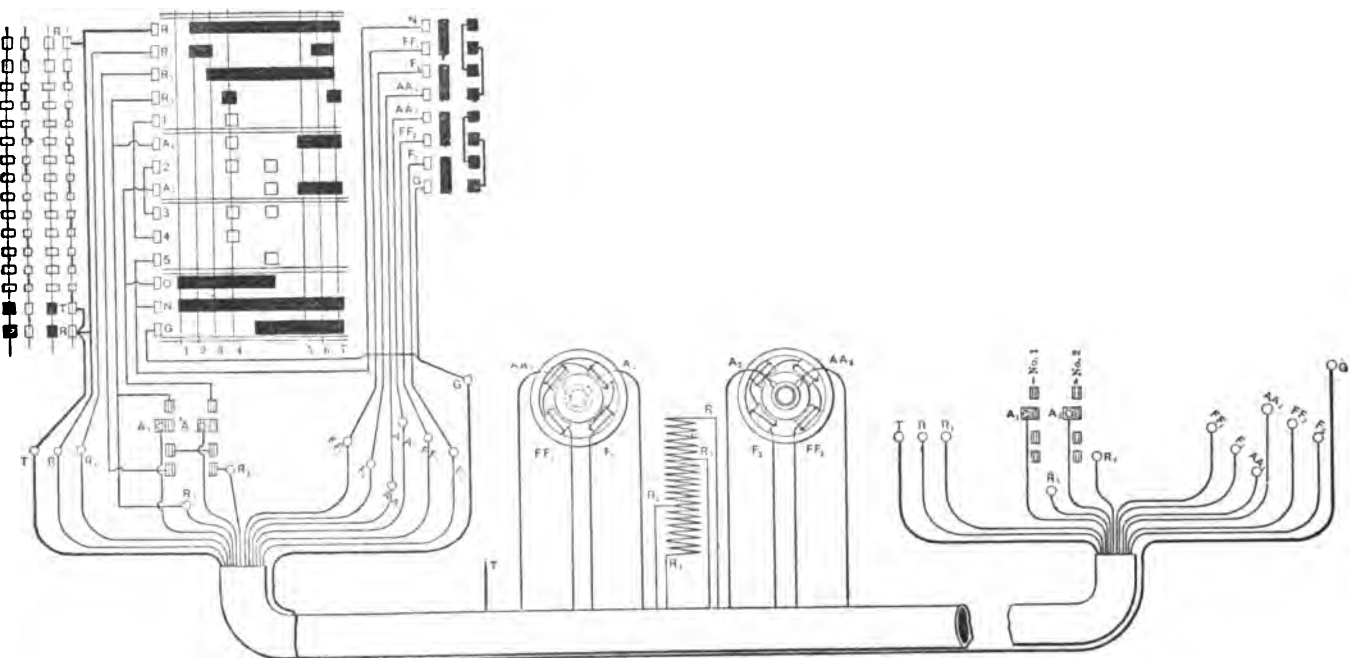


Fig. 142. — Développement des connexions du controlleur Walker.

le moteur B, revient au commutateur et retourne à l'induit du même moteur, pour aboutir au fil de terre G.

En comparant cette manœuvre à la précédente, on voit que le courant est seulement *renversé dans les inducteurs*, les autres connexions restant les mêmes : le moteur tourne donc en sens inverse du premier mouvement. La manœuvre de la manette permet de coupler les moteurs en parallèle et en série avec une seule résistance, ou même d'enlever toute résistance (*fig.* 140 *bis* à 141 *bis*). Nous donnons, dans les figures 142 et 143, le schéma et le développement des connexions d'un controlleur Walker.

Comme on le voit, le controlleur, qui à l'extérieur semble

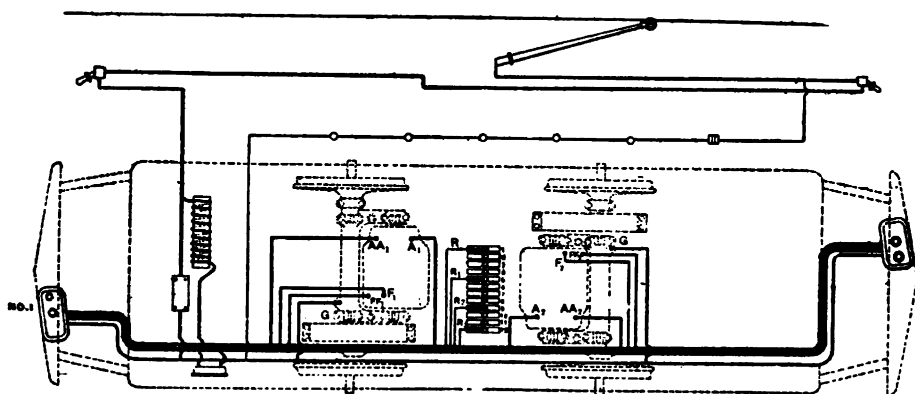


FIG. 143. — Connexions, sur la voiture, du controlleur Walker.

être un appareil bien simple, est assez compliqué ; la raison en est qu'il a fallu, par la simple manœuvre d'une manette, faire toutes les combinaisons nécessaires à la bonne marche du tramway. Aussi peut-on dire que tel ou tel système vaut mieux qu'un autre, par le controlleur employé et dont les moindres détails ont été particulièrement soignés.

L'appareil de mise en marche, quel que soit son système, doit donc être très bien étudié ; on comprend que cet appareil est la partie essentielle du tramway et que tous les soins du conducteur-électricien doivent tendre à l'entretenir en parfait état.

D'une façon générale, pour éviter de retourner la voiture

sur des plaques tournantes, on dispose deux controlleurs : l'un à l'avant et l'autre à l'arrière ; les manivelles de manœuvre sont alors enlevées pour éviter que les voyageurs y touchent.

Parmi les controlleurs les plus employés nous citerons ceux de la Compagnie Thomson-Houston, de la Compagnie Walker, de Sprague, de Huntler, de Siemens et Halske, etc. (*fig.* 133 à 138).

Trucks. — Le truck est la partie sur laquelle vient se fixer la caisse du tramway : il est composé d'un cadre métallique, d'une forme rectangulaire, et supporté par les essieux et les roues. Pour amortir les secousses et les trépidations, dues à la voie, qui se transmettraient à la caisse de la voi-

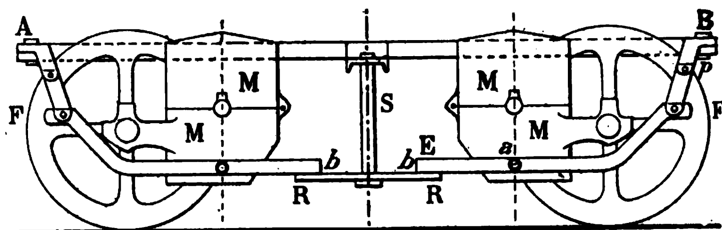


Fig. 144. — Principe du truck Thomson-Houston.

ture, le truck est monté sur des ressorts qui amortissent et atténuent ces trépidations.

A ce propos, disons que les ressorts à boudin ont l'inconvénient de se comprimer quand la voiture est surchargée, et l'élasticité est ainsi perdue : nous estimons qu'il est préférable d'employer des ressorts à lames qui ne présentent pas cet inconvénient.

Il existe une grande variété de modèles de trucks, qui ne diffèrent souvent que par quelques détails de construction ; nous en donnons ci-dessous plusieurs modèles : les figures suffisent à faire comprendre les avantages et les inconvénients de chaque modèle (*fig.* 147 à 151).

Sans entrer dans la description de chacun des types existants, nous donnerons cependant une idée générale de leur construction en décrivant brièvement l'un des plus connus :

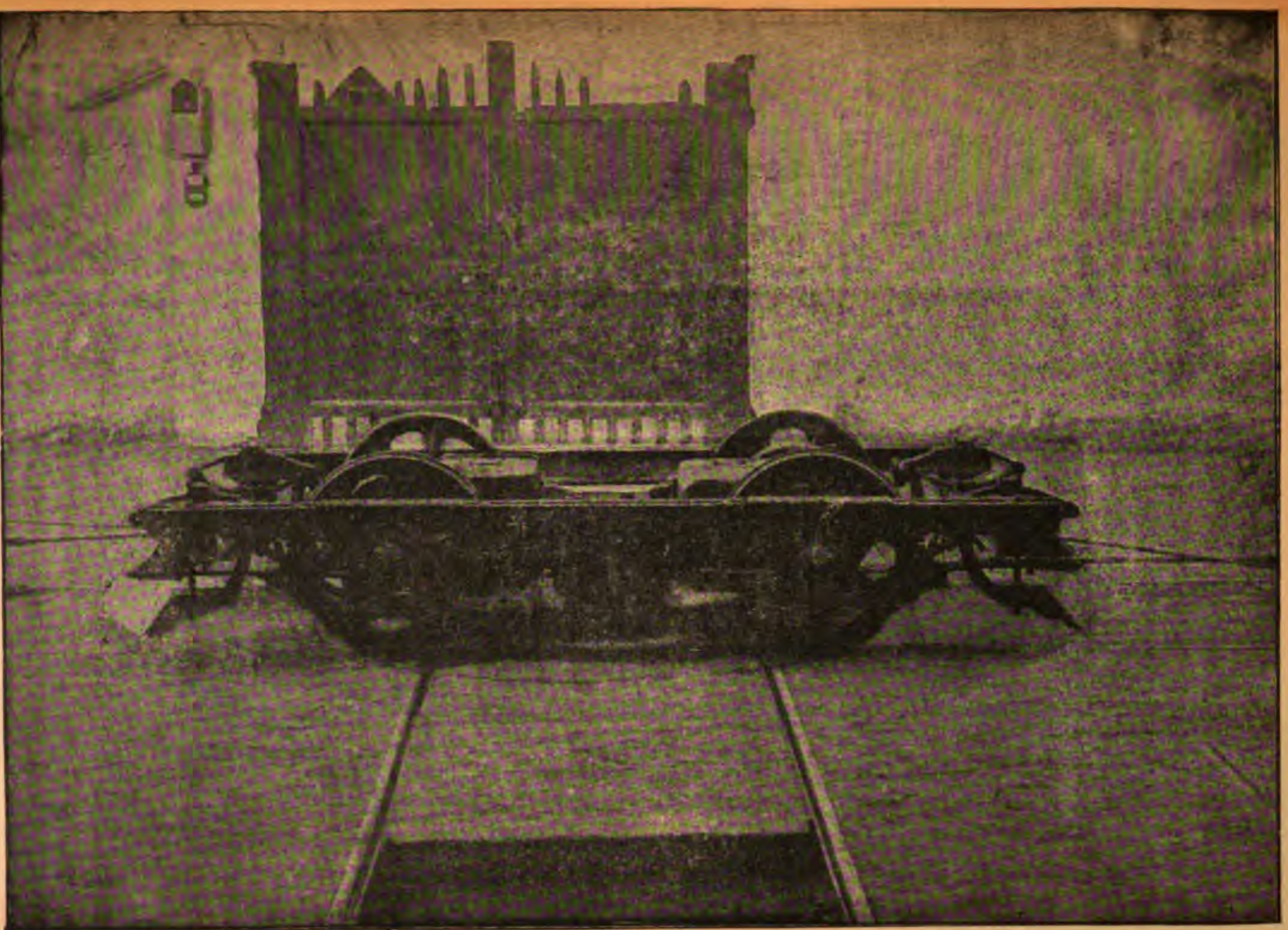


Fig. 145. — Vue d'ensemble du truck de la Compagnie Thomson-Houston.

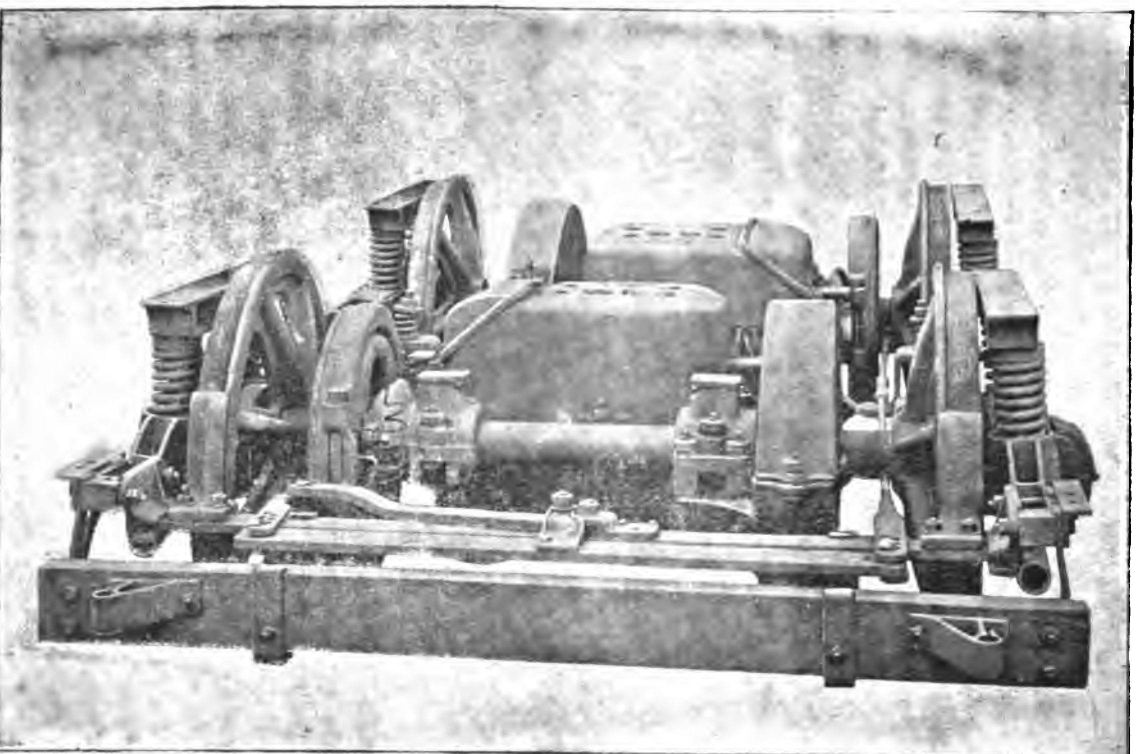


Fig. 146. — Truck renversé de la Compagnie Thomson-Houston.

celui de la General Electric C°, qui exploite les brevets Thomson-Houston (*fig.* 144, 145 et 146).

La partie la plus intéressante d'un truck est le mode de

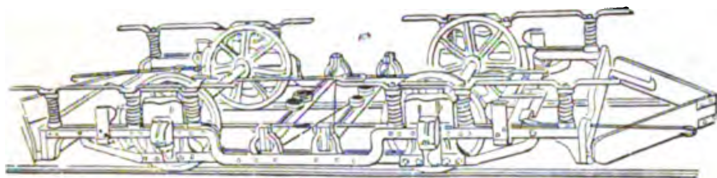


Fig. 147. — Truck Peckham, système Cantilever.

suspension des moteurs. Dans celui de la General Electric C°, le premier point d'appui de la carcasse du moteur M est pris sur l'essieu, sans intermédiaire élastique. La distance

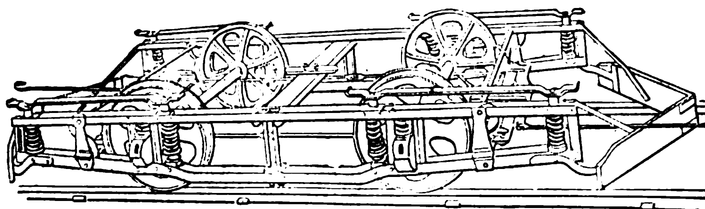


Fig. 148. — Truck système Manier.

des axes des roues dentées devant rester invariable, le deuxième point d'appui doit être pris au moyen d'une suspension qui laisse un certain jeu; de plus, on doit chercher à

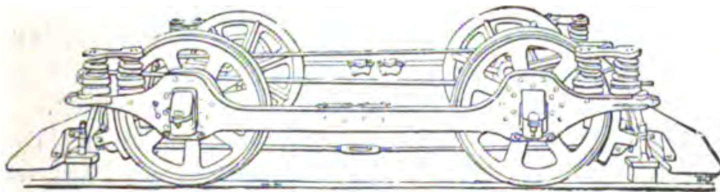


Fig. 149. — Truck système Mac Guire.

soulager l'armature et éviter, autant que possible, les chocs dus aux trépidations et autres causes ; aussi y a-t-il intérêt à prendre ce second point d'appui sur la verticale passant par

le centre de gravité de l'ensemble, c'est ce qui existe dans le truck considéré. Le moteur est suspendu en *a*, au moyen de deux têtons qui pénètrent dans l'œillet *a*, ménagé sur les bras de suspension EF, qui sont eux-mêmes attachés, au moyen d'une bride P, au truck AB. Les bras de suspension EF sont rattachés au truck, à l'autre extrémité, au moyen d'un tirant S et d'une plaque RR sur laquelle sont montés des blocks de caoutchouc *ee*; la suspension est donc très élastique, et elle est obtenue sans l'adjonction de ressort proprement dit.

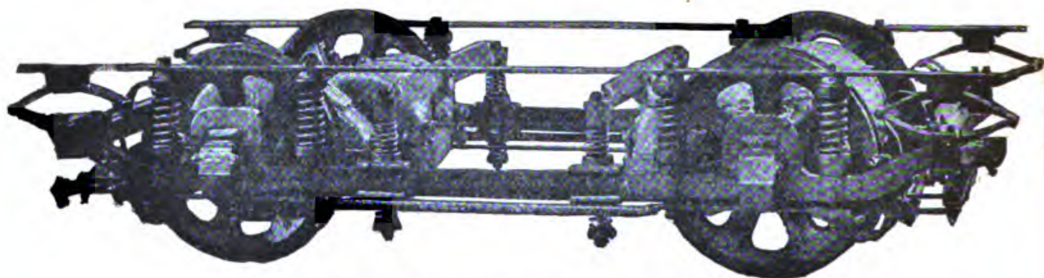


Fig. 150. — Autre système de truck.

Cette suspension constitue l'une des principales qualités de ce truck, et il est à remarquer que les éléments et les pièces mécaniques qui le constituent sont très simples ; il en résulte une grande économie dans le prix de construction et, par conséquent, dans celui de l'entretien. D'une façon générale, l'on doit éviter, dans la construction d'un truck, l'emploi de pièces mécaniques compliquées et délicates, et éviter autant que possible l'usage des rivets, des vis, etc., qui augmente, dans la pratique courante, l'entretien du truck.

On a également intérêt à employer, au lieu de fer plat ou profilé, tel que les fers **U**, les fers **T** et **I**, les tubes qui, sous le même poids, présentent une résistance mécanique plus grande et sont d'un emploi plus commode pour les ajustages et les raccords des pièces entre elles.

La suspension du moteur électrique peut être faite de bien des manières ; nous signalons l'une d'elles qui est intéressante,

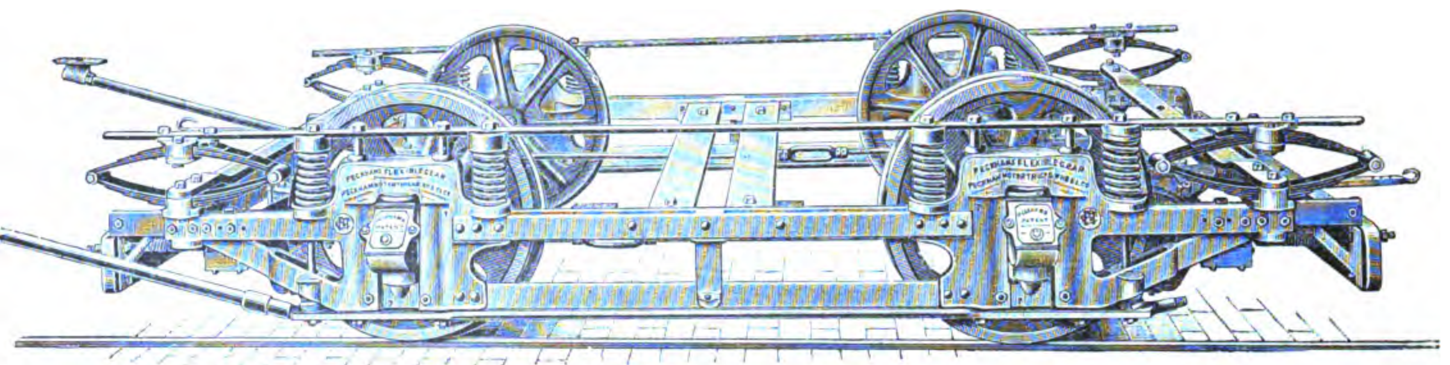


Fig. 151. — Vue d'ensemble du truck système Peckham.

elle est employée par la Compagnie Walker (*fig.* 153). La carcasse du moteur porte deux oreilles A et B reposant sur deux ressorts RR, qui prennent leur point d'appui sur le bâti du truck; une secousse communiquée par la voie ne peut être transmise au moteur que par l'intermédiaire des ressorts

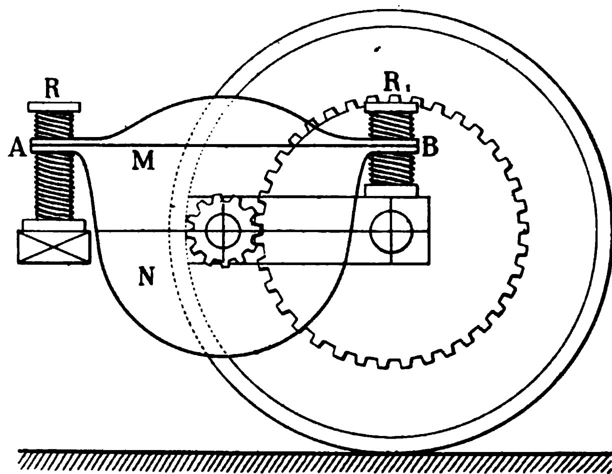


Fig. 152. — Suspension du moteur Walker.

qui, en se déformant, absorbent la plus grande partie du choc communiqué, et le moteur est ainsi préservé.

Cette disposition a un autre avantage : au moment du démarrage, le couple moteur tend à faire tourner l'ensemble du moteur : il en résulte un choc brusque sur les dents des engrenages, d'où résultent quelquefois des ruptures de dents; les ressorts ont pour effet d'atténuer ce choc et de rendre plus doux le démarrage.

Comme particularité du moteur Walker, on peut citer la carcasse magnétique en fonte d'acier, qui se démonte en deux parties : l'une inférieure M, l'autre supérieure N ; cette disposition est pratique, car, selon la partie que l'on voudra visiter, on enlèvera l'une ou l'autre.

De plus, les coussinets du moteur sont placés en saillie sur la carcasse : avec ce dispositif l'huile et la graisse ne

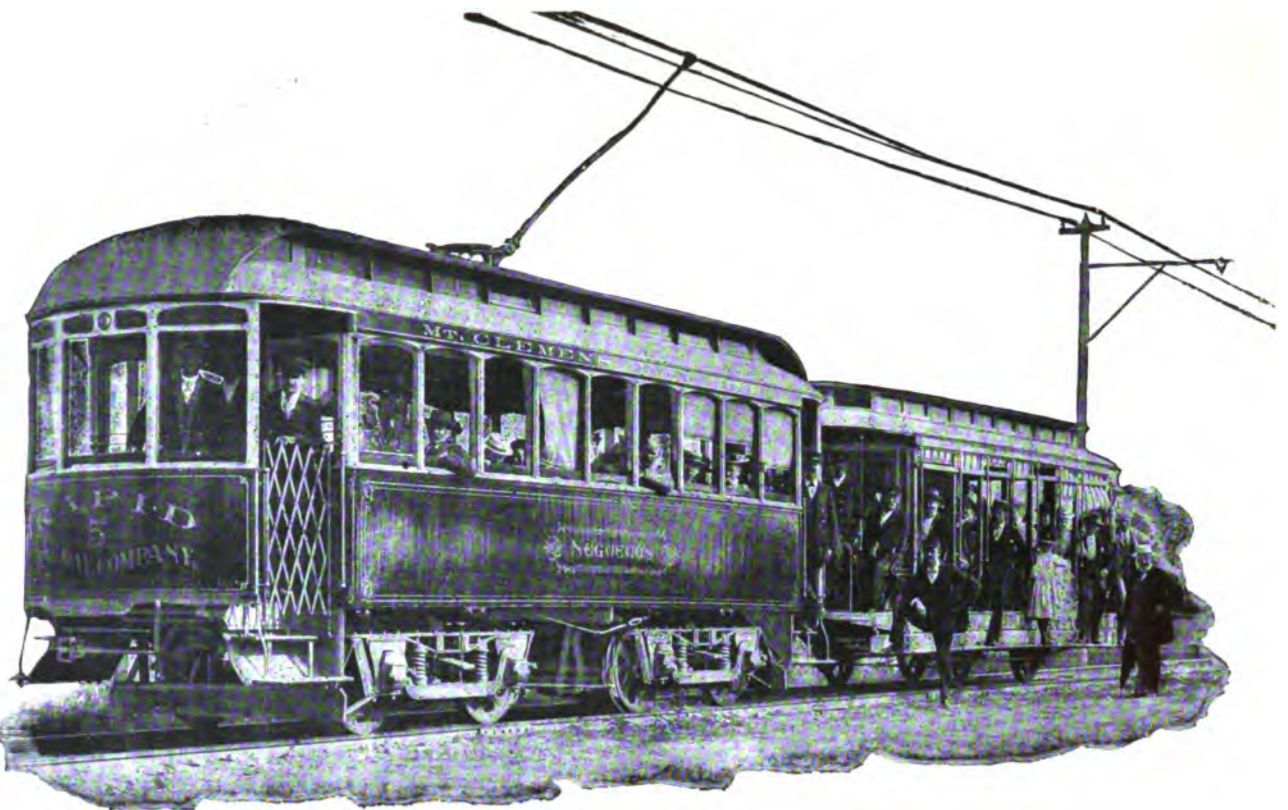


Fig. 153. — Voiture automobile et voiture remorquée.

pénètrent pas dans les enroulements et sont rejetés à l'extérieur.

La longueur moyenne d'un truck d'une voiture de tramway de 30 voyageurs est d'environ 5 mètres; la largeur est d'environ 2 mètres.

Ces dimensions varient avec l'importance de la voiture, mais non pas d'une manière proportionnelle; ainsi un même truck pourra servir à une voiture de 32 places et de 40 places; ce n'est qu'à 50 places que le truck deviendra un peu plus grand que le précédent.

On emploie quelquefois des trucks doubles ou à boggies; cette disposition, avantageuse dans certains cas, a l'inconvénient d'augmenter l'effort de traction.

De plus, comme le boggie est à deux essieux, et qu'il n'y a, par boggie, qu'un essieu moteur, on se trouve dans la nécessité de réunir, par une bielle, les deux roues, pour profiter de l'adhérence totale.

Jusqu'à présent, la pratique n'a pas sanctionné l'emploi de ce genre de trucks, qui ne serait, du reste, applicable que pour les voitures de grande capacité.

Dans les voitures d'une certaine importance (au-dessus de 30 voyageurs), on emploie généralement deux essieux moteurs. Pour les voitures de moindre importance, il n'y a généralement qu'un essieu moteur.

On a intérêt, en effet, au point de vue de l'entretien, à n'employer qu'un seul moteur; mais remarquons que l'emploi d'un seul moteur dépend du profil sur lequel circule la voiture : s'il est très accidenté, il faut équiper la voiture avec deux essieux moteurs.

Dans les premiers tramways, la commande de l'essieu moteur, par le moteur, se faisait au moyen d'une double réduction d'engrenages.

Cette disposition avait l'avantage de permettre l'emploi des moteurs tournant très vite, par conséquent économiques au point de vue du prix et d'un poids léger; mais, par contre, elle avait l'inconvénient de nécessiter deux trains d'engrenage, qui par leur mouvement faisaient beaucoup de bruit; de

plus, l'entretien, au point de vue mécanique, était assez coûteux.

Aujourd'hui, l'on n'emploie presque généralement que la réduction *simple*.

C'est ainsi que le moteur type G. E. 800 de la General Electric C° tourne à 525 tours par minute; et, avec des roues d'un diamètre de 75 centimètres, on obtient la vitesse de

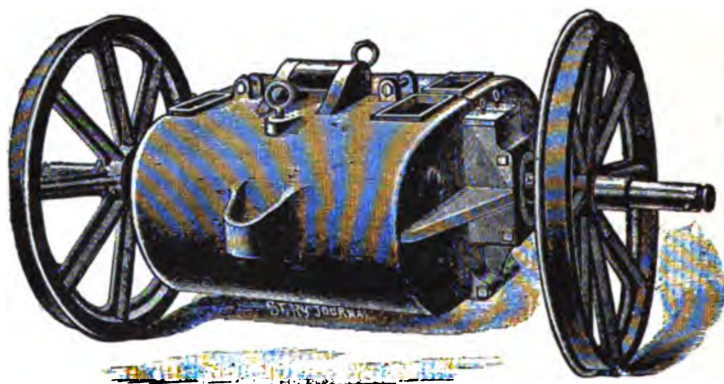


Fig. 154. — Moteur de la Compagnie Westinghouse, calé directement sur l'essieu.

16 kilomètres à l'heure. Le rapport de réduction est ainsi de 4,78 à 1, on se trouve donc, au point de vue mécanique, dans de bonnes conditions.

On a pensé qu'il serait intéressant de se passer complètement d'engrenage de réduction, et certains constructeurs, parmi lesquels la Compagnie Westinghouse, ont construit des types de moteurs pouvant être calés directement sur l'essieu moteur (*fig.* 154).

Cette disposition a ses avantages et ses inconvénients : si elle supprime l'entretien résultant des engrenages, elle augmente l'entretien du moteur électrique, car le démontage du moteur est moins facile; en réduisant la vitesse de ce moteur, son poids et son prix augmentent. En somme,

l'on peut dire que c'est la disposition à simple réduction qui a la préférence, actuellement, pour l'application des moteurs électriques aux tramways. Dans les locomotives élec-

VOITURE SYSTÈME SIEMENS ET HALSKE

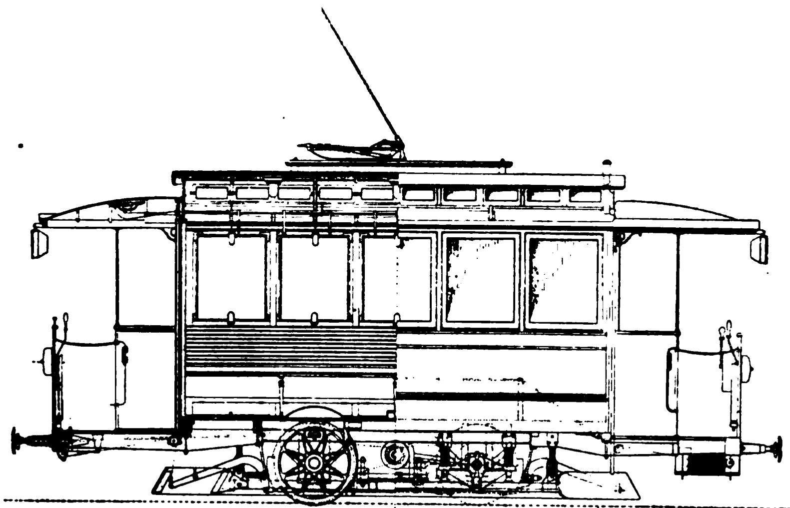


Fig. 155. — Élévation.

triques, comme nous le verrons, étant données les grandes vitesses à atteindre, on a intérêt à employer la disposition

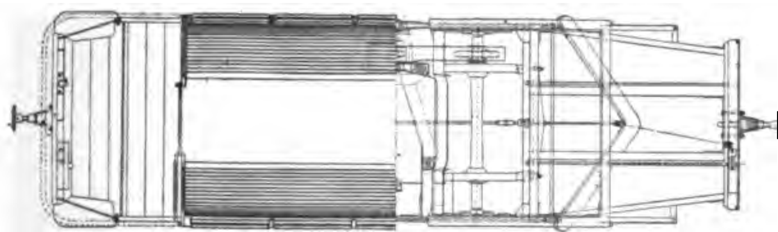


Fig. 156. — Vue en plan.

de l'induit du moteur calé directement sur l'essieu moteur.

Caisse des voitures. — Nous ne dirons pas grand'-chose sur ce point qui est bien connu. L'intérieur des

voitures est décoré avec plus ou moins de luxe. En Amérique, sur certaines lignes, les voitures sont très confor-

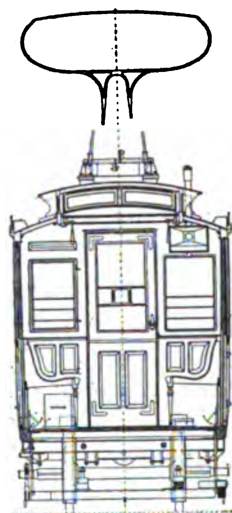


Fig. 157. — Vue en bout.

tables et même luxueuses ; sur d'autres, elles sont très primitives.

Les figures 155-163 donnent quelques types de voitures.

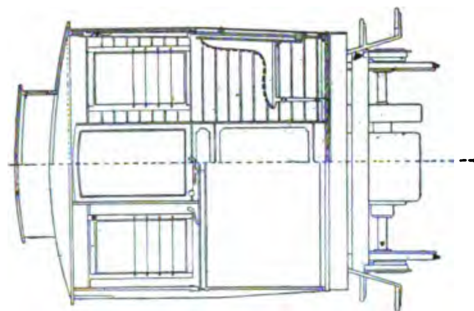


Fig. 159. — Vue en bout.

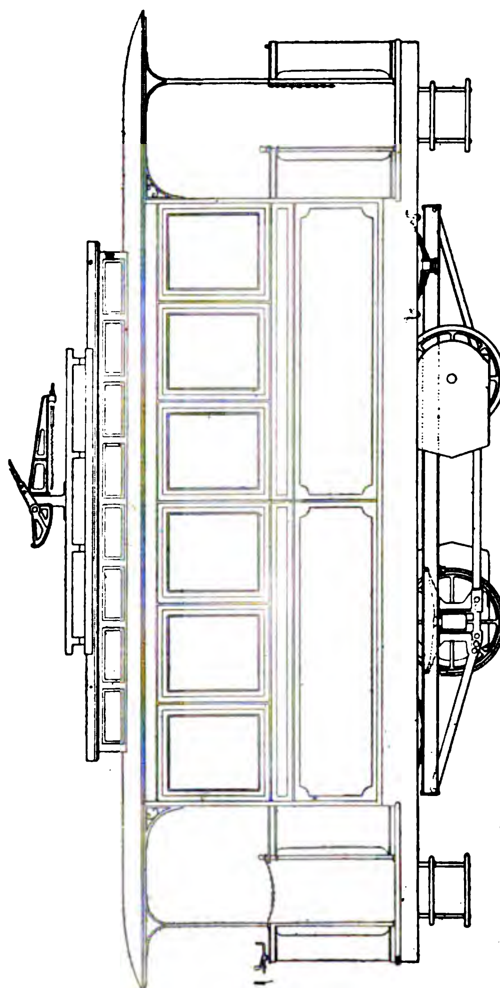


Fig. 158. — Voiture de la Société industrielle des Moteurs électriques et à vapeur.



Fig. 160. — Voiture de la Compagnie Walker, montant une rampe.



Fig. 16. — Voie à truck radial.

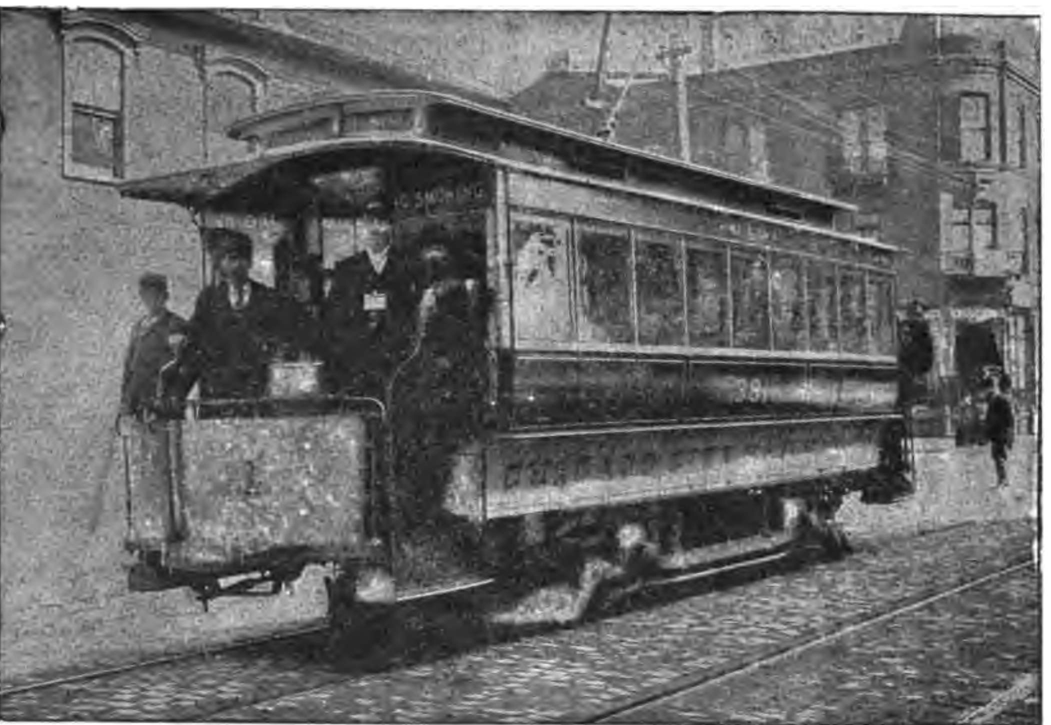


FIG. 162. — Voiture Thomson-Houston.

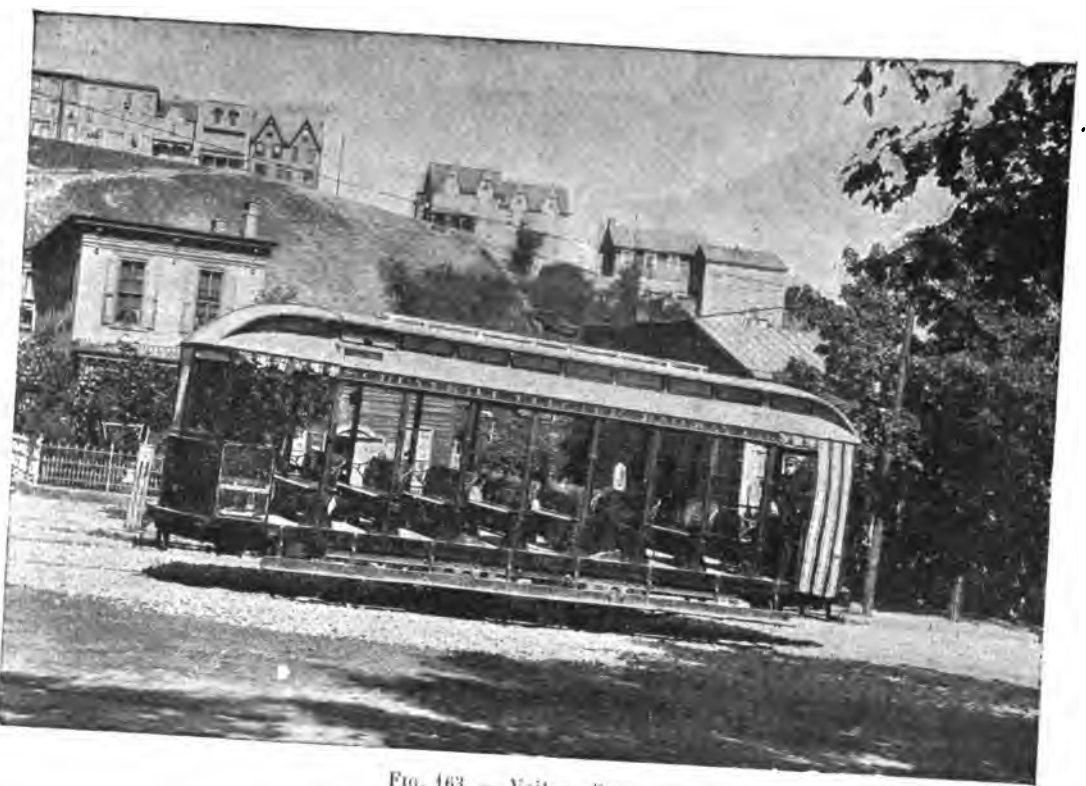


FIG. 163. — Voiture d'été.

Trolley. — ***Différents systèmes de trolley.*** — Les trolleys aériens peuvent se diviser en deux catégories bien distinctes : 1° les trolleys à roue; — 2° les trolleys à contact glissant. Mentionnons qu'au début de la traction électrique on employa un trolley qui avait la forme d'une navette, qui glissait à l'intérieur du fil de travail, constitué par un tube (*fig.* 164-165) (tramways de Royat à Clermont-Ferrand).

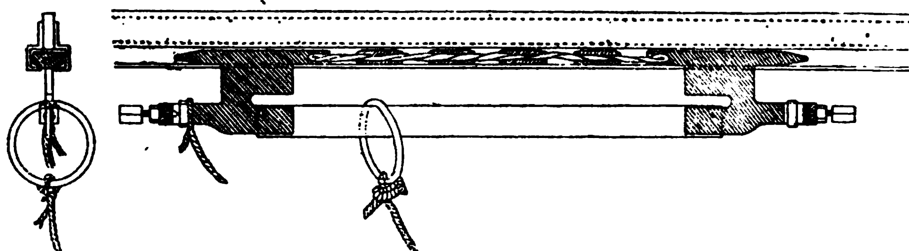


Fig. 164-165. — Trolley à navette.

A. ***Trolley à roulette.*** — Les trolleys à roue sont actuellement les plus employés ; ils se composent, en principe, d'une

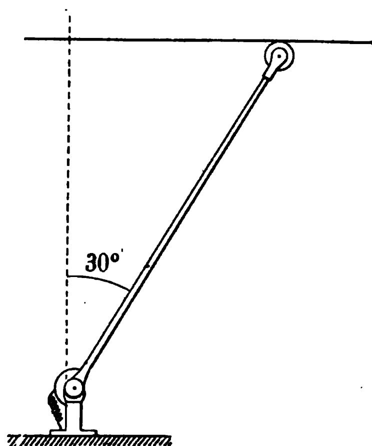


Fig. 166. — Inclinaison de la perche du trolley.

tige de 4 mètres de longueur environ, à l'extrémité de laquelle est fixée une roulette de 12 à 13 centimètres de diamètre extérieur, avec une gorge de 1 à 2 centimètres (*fig.* 168-169).

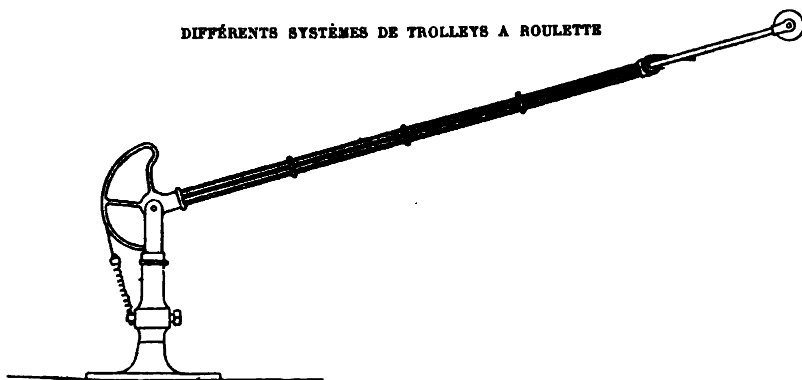


FIG. 167. — Trolley système Van Depœle.

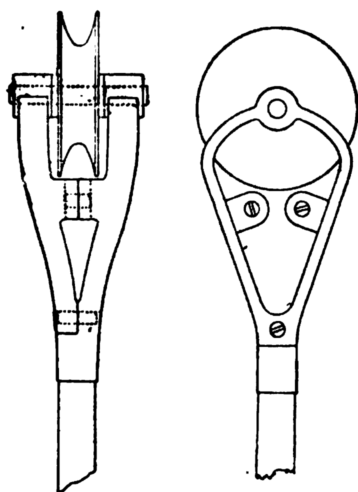


FIG. 168-169. — Roulette de trolley.

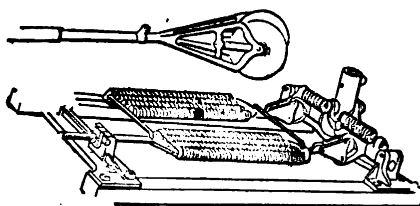


FIG. 170.

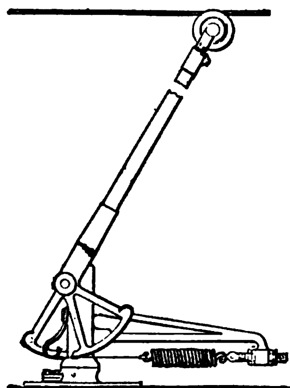


FIG. 171.

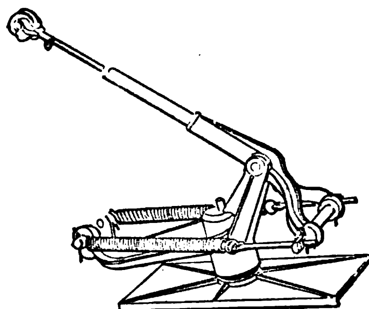


FIG. 172.

FIG. 170-171-172. — DISPOSITION DES RESSORTS.

Cette roulette est, le plus généralement, en bronze ; quelquefois la gorge est faite en graphite. C'est cette roulette qui vient prendre, par contact de friction sur le fil de travail, le courant qui est ensuite envoyé aux moteurs.

L'inclinaison moyenne de l'ensemble du trolley fait environ un angle de 30° avec la verticale (*fig.* 166).

La perche du trolley est habituellement en bois ou en tube d'acier à section décroissante ; elle est attachée à la toiture de la caisse de la voiture. Des ressorts, disposés de différentes façons, suivant le type du modèle employé, permettent à la

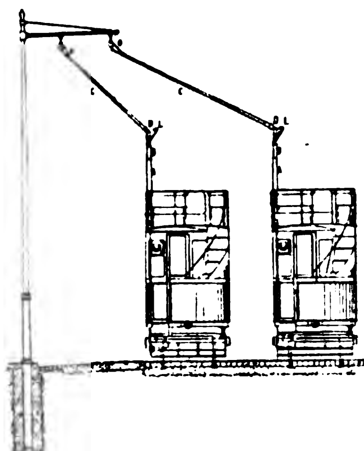


FIG. 173. — Disposition des perches de trolley de deux voitures prenant le courant au même poteau-console.

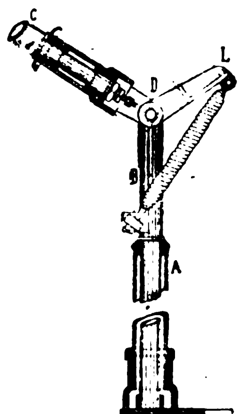


FIG. 174. — Détail de la base de la perche de trolley : articulation permettant le pivotement.

tige d'avoir du jeu dans le plan vertical; il existe, en principe, deux ressorts ayant chacun un but spécial : l'un qui permet le jeu latéral, l'autre qui applique la roulette contre le fil de travail. Remarquons qu'une cordelette est attachée à la roue du trolley, et pend jusqu'à portée du mécanicien ; elle sert à replacer la roulette sur le fil, quand celle-ci le quitte.

Nous donnons les dessins des trolleys les plus usités (*fig.* 167 à 172).

Quel que soit le type employé, nous ferons remarquer que ce genre de trolley a un jeu latéral très faible : ce qui com-

plique, en multipliant les points d'appui nécessaires, la disposition de la ligne aérienne (fil de travail), qui doit ainsi

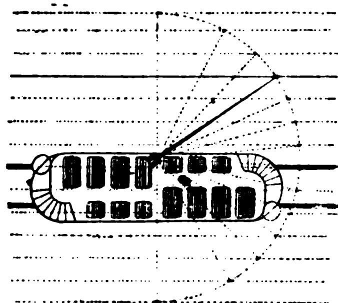


Fig. 175. — Disposition montrant le rayon d'action du trolley système Dickenson : pivotement de la perche de trolley, 180°.

être *toujours* dans l'axe de la voie suivie par le tramway.

Une disposition heureuse, imaginée par M. Dickenson, per-

COMPARAISON D'UNE LIGNE AÉRIENNE AVEC PRISE DE COURANT AU MOYEN D'UN TROLLEY A ROULETTE ET D'UN TROLLEY SYSTÈME DICKENSON

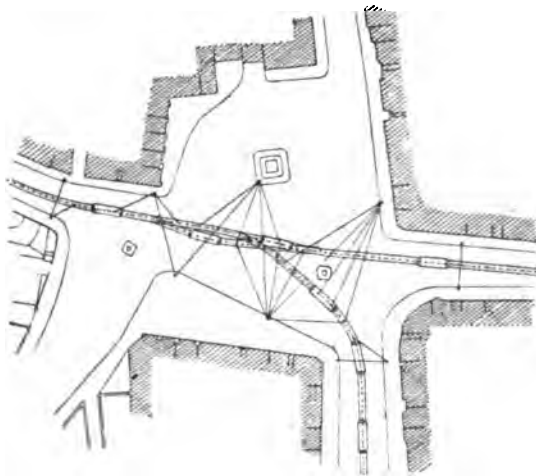


Fig. 176. — Ligne aérienne avec fil tendeur à prise de courant par trolley ordinaire.

met d'éviter cet inconvénient (*fig.* 173-175). La tige de trolley est montée sur une sorte de genouillère (*fig.* 174), qui permet

à celle-ci de se déplacer dans tous les plans, de sorte que la ligne aérienne, dans les courbes, est simplifiée, comme

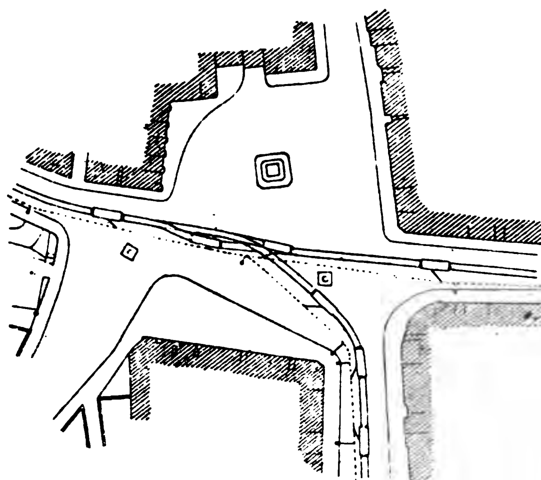


Fig. 177. — Même ligne aérienne avec poteau-console : prise de courant par trolley système Dickenson.

l'indiquent les figures 176 et 177 qui font facilement comprendre les avantages de trolley.

B. ***Trolley à contact glissant.*** — Le trolley à contact glissant prend généralement la forme d'un **T** ou d'un **U** renversé. Le trolley *ab* vient s'appliquer au-dessous du fil de travail F et prend son contact avec lui en glissant (*fig.* 178).

Ce genre de trolley a été imaginé primitivement par la Sprague Electric C°, qui l'a abandonné pour employer le trolley à roulette. Cette disposition a été reprise par la maison Siemens et Halske, qui l'a appliquée dans plusieurs installations importantes ; elle lui a donné le nom d'*archet*, pour rappeler la façon dont ce trolley se déplace transversalement le long du fil de travail ; nous donnons un peu plus loin la description du dernier dispositif adopté à ce sujet.

Le principal avantage de ce genre de trolley est de simplifier la ligne dans les courbes, en permettant au fil de travail aérien de ne pas suivre exactement l'axe de la voie du tramway.

On comprend facilement que le fil de travail peut se déplacer suivant la longueur *ab* de la partie en contact avec lui, de sorte que, dans une courbe à petit rayon de courbure, on peut diminuer les côtés du polygone dans lequel s'inscrit la courbe et, par conséquent, les points d'appui (poteaux) correspondants. Enfin, cette disposition a, en fonctionnement normal, une marche plus régulière que la roue du trolley ordinaire; c'est ainsi que l'on ne remarque pas la production des étincelles, qui ont lieu avec la roulette ordinaire, quand la gorge de la roulette quitte momentanément le fil de travail, ou que le contact se fait par à-coup.

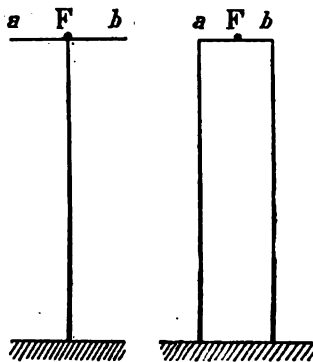


Fig. 178. — Principe du trolley à contact glissant.

Prise de courant, dite « archet », système Siemens et Halske. — Comme nous le disions plus haut, la maison Siemens et Halske, qui a été l'une des premières, en Europe, à faire de la traction électrique, a adopté, pour la prise de courant sur le fil aérien, ce trolley spécial qu'elle a appelé *archet*.

Ce système était primitivement formé d'un fil recourbé suivant la forme de la figure 179; le contact avec le fil de travail se faisait aux points compris entre *a* et *b*; on avait ainsi une certaine marge pour le point de contact, ce qui permettait de simplifier, comme nous l'avons déjà dit, la ligne aérienne, dans les courbes, car le polygone dans lequel s'inscrivait la courbe considérée était très agrandi ; c'est ainsi que, pour réunir deux voies perpendiculaires, ce polygone n'a plus que quatre côtés ; cet avantage est notable, spécialement dans les courbes de petit rayon.

Depuis, l'*archet* a subi plusieurs perfectionnements, dont le principal (*fig.* 179) consiste à revêtir la partie frottante *ab*

d'une gaine en aluminium *mn*. Cette gaine présente deux rainures *rr*, dans lesquelles on place de la graisse consistante; on lubréfie ainsi le fil de travail, et on diminue d'autant l'usure sur ce fil; de plus, la gaine étant démontable, puisqu'elle est en deux parties serrées par des vis, on peut la remplacer facilement quand elle est usée ; cette disposition a le

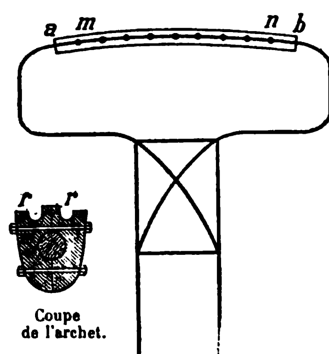


Fig. 179. — Prise de courant, dite « archet », système Siemens et Halske.

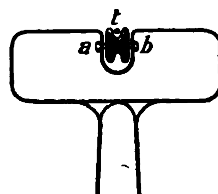


Fig. 180.

grand avantage de diminuer les frais d'entretien de la ligne, car c'est la gaine en aluminium qui s'use, et non plus le fil de travail. Une autre disposition, représentée par la figure 180, est également employée ; au milieu de l'archet se trouve une pièce *ab*, qui peut être facilement démontée pour être remplacée : le fil de travail *t* se place dans la gorge et n'en sort que dans les courbes ; l'usure est ainsi encore diminuée.

Ce trolley est monté sur la toiture de la caisse de la voiture d'une façon très simple (voir la figure 158).

La tige de l'archet est montée sur une traverse *tt*, en bois (*fig*. 181) ; deux ressorts *r* et *s* servent à appliquer l'archet contre le fil de travail, et un autre ressort *u* compense les différences de niveau de la ligne aérienne : tout l'ensemble est isolé de la toiture de la voiture par des rondelles en caoutchouc *pp*. Nous indiquerons, en passant, le parafoudre employé par MM. Siemens et Halske.

L'archet est réuni au moteur électrique par un fil isolé;

de même, il est réuni avec un parafoudre spécial, placé sur la toiture de la caisse.

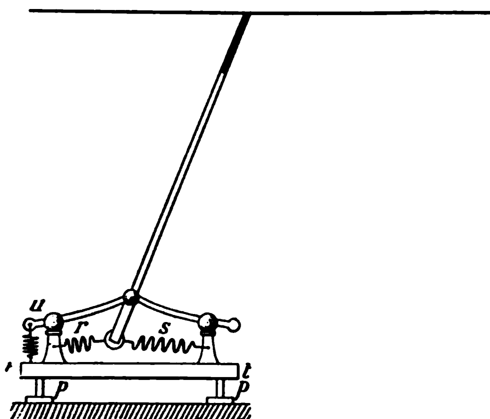


Fig. 181.

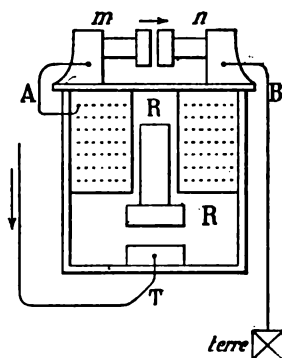


Fig. 182. — Parafoudre système Siemens et Halske.

Ce parafoudre est composé (*fig.* 182) d'une boîte remplie d'huile et renfermant un électro-aimant AB, à l'intérieur

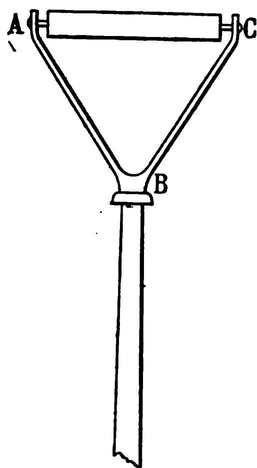


Fig. 183. — Principe du trolley de la Compagnie Walker.

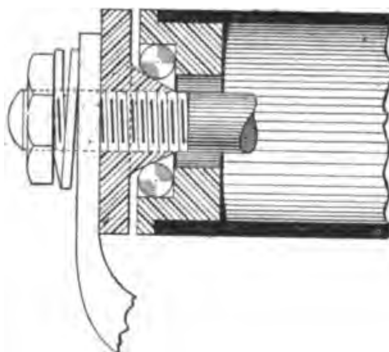


Fig. 184. — Détails du montage du trolley Walker.

duquel se meut une pièce en fer RR ; le courant de décharge, arrivant en T, saute de T à R, passe dans l'électro-aimant, et

se brise, ou passe en m et n et, enfin, arrive à la terre; mais, pendant ce temps, l'électro-aimant a été excité, la pièce en fer RR est attirée, et l'arc formé a été soufflé entre R et T.

La Compagnie Walker a appliqué le principe de l'archet modifié (*fig.* 183). Le trolley adopté par cette Compagnie consiste en une fourche ABC, entre les bras de laquelle est placé un rouleau AC monté sur billes (*fig.* 184), qui vient prendre le contact du fil de travail; l'usure est ainsi diminuée par le renouvellement constant de la surface de contact. La figure 185 donne le détail et l'ensemble du montage de ce trolley.

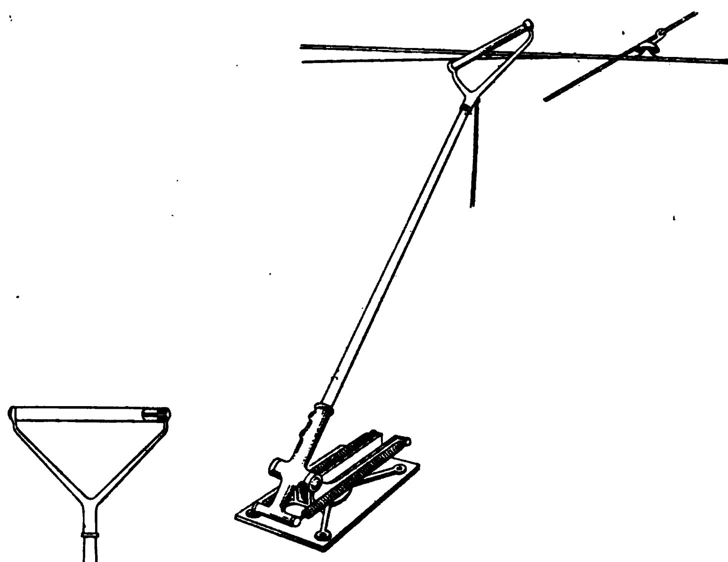


Fig. 185. — Ensemble du trolley à rouleau, système Walker.

Un autre genre de trolley à *archet* est celui qui se présente sous la forme d'un parallélogramme articulé, dont nous verrons une application aux locomotives électriques.

Avantage du système de trolley à archet sur celui à roulette. — Le système de trolley à *archet* a le grand avantage, sur le trolley à roulette, de ne pas

coïncer dans les courbes. Ce fait a été mis en évidence par M. S.-L. Foster [1]. En effet, soit une courbe de rayon r, et soit xy l'axe de la voie, et par conséquent la projection horizontale du fil de travail; dans le passage en courbe, l'axe de la voiture est représenté par la droite LH, dont la longueur dépend de l'empâtement de la voiture (*fig.* 186). Le trolley, qui pivote en D, prend la direction DT (projec-

FIG. 185.

tion horizontale) ; l'axe de la roue du trolley ne coïncide plus avec l'axe du fil de travail ; il se produit un coïncement qui a tendance à faire sortir le fil de travail de la gorge de roulette, d'où une usure anormale.

Pour éviter cet inconvénient, la perche du trolley doit être en projection horizontale, tangente à la courbe du fil de travail : ce qui, en pratique, est impossible à réaliser avec le trolley à roulette. Cet inconvénient, assez grave, n'existe pas avec le système à *archet :* le fil de travail pouvant se déplacer à volonté sur une longueur déterminée

(1) *The Street-Railway Journal*, juin 1896.

qu'il est facile de calculer. En effet, dans le triangle CHD, en se reportant aux notations de la figure, on a :

$$(1) \qquad a^2 = r^2 - b^2.$$

La longueur b est connue : elle est égale à la moitié de l'empâtement. Soit $2b$ cet empâtement :

Dans le triangle CAD on a :

$$d^2 = a^2 - t^2, \qquad \text{ou} \qquad d = \sqrt{a^2 - t^2};$$

en remplaçant a^2 par sa valeur tirée de (1), on a :

$$(2) \qquad d = \sqrt{r^2 - b^2 - t^2}.$$

Dans cette équation (2), t représentant la projection horizontale de la perche de trolley, on a, en appelant l la longueur de cette perche, et h la hauteur du fil de travail au-dessus de la toiture de la voiture :

$$t = \sqrt{l^2 - h^2}.$$

En remplaçant t par cette valeur dans (2), on a :

$$d = \sqrt{r^2 - b^2 - l^2 + h^2}.$$

Comme nous l'avons vu, la longueur $r - d$ représente la différence qu'il faut rattraper pour éviter le coïncement qui ferait dérailler la roue du trolley : c'est cette longueur, déterminée pour le cas le plus défavorable, qui donnera la longueur de l'archet. Si, par exemple, on a l'exemple suivant :

Empâtement, $2b = 2$ mètres ;
Longueur de la perche de trolley, $l = 4$ mètres ;
La hauteur au-dessus du toit, $h = 3$ mètres ;
Rayon de courbure, $r = 25$ mètres.

On a pour la valeur d :

$$d = 25 \times 25 - 1 - (4 \times 4) + 3 \times 3 = 24,82.$$

La différence :

$$r - d = 25 - 24,82 = 0^{m},18.$$

La longueur utile de l'archet, pour des courbes de 25 mètres dans les conditions ci-dessus, sera donc de 18 centimètres. Si les courbes étaient d'un rayon plus petit, il faudrait augmenter cette longueur, et cela d'autant plus que la ligne du fil de travail est un polygone, et non une courbe régulière. On voit donc que, à conditions égales, le trolley à roulette a grande chance de dérailler dans les courbes de faible rayon, malgré la compensation prévue par les ressorts, tandis que le trolley à archet donne toute sécurité.

Accessoires des voitures. — *Freins et freinage des voitures.* — Comme, dans l'exploitation des lignes à traction électrique, on a tendance à augmenter la vitesse des voitures, il faut pouvoir compter sur un freinage énergique, afin d'arrêter la voiture lancée à pleine vitesse, et cela sur une distance réduite.

On admet qu'une voiture, marchant à 12 kilomètres à l'heure, dans une ville, doit s'arrêter sur une distance égale à sa propre longueur, et cela aussi bien en pente qu'en rampe. Dans les trajets extra-urbains, une voiture lancée à 20 kilomètres à l'heure doit s'arrêter sur une longueur de 15 à 16 mètres. Pour satisfaire à ces exigences imposées par la pratique, on est obligé, en traction électrique, d'employer des freins sûrs et puissants. Pour les voitures circulant dans les grandes villes, comme à Paris, on emploie jusqu'à trois freins différents sur une même voiture ;

1° Le freinage électrique, obtenu en général en renversant le courant dans les voitures ;

2° Le freinage obtenu par un frein à corde, genre Lemoine.

Ces deux freinages sont seuls à la disposition du conducteur-mécanicien;

3° Le freinage à main, obtenu au moyen de sabots s'appliquant sur le bandage des roues; ce freinage peut être manœuvré de l'avant et de l'arrière de la voiture, de sorte que le receveur peut serrer le frein dans un moment critique, aidant en cela le conducteur-mécanicien qui lui en donne l'ordre par un signal convenu.

On a proposé, avec raison, d'employer le frein à air comprimé. Il serait désirable que ce système entre, en France, dans la pratique courante pour les tramways, car il présente une *pleine sécurité* de fonctionnement : cette qualité étant la plus intéressante et absolument indispensable pour un frein. Ce système serait surtout avantageux dans le cas de voiture remorquée: on pourrait bloquer, par une seule manœuvre et *au même instant*, toutes les roues en mouvement, ce qui n'existe pas actuellement, quand on emploie une voiture remorquée.

Ce système de freinage, très pratique, est employé en Amérique. Les figures 187 à 189 donnent la disposition générale des appareils, dont le principal organe est un compresseur d'air, dans lequel l'air est comprimé au moyen d'un petit moteur électrique, dont la vitesse est réglée à volonté par un rhéostat spécial et qui est alimenté par le courant du fil de travail.

L'air comprimé, emmagasiné dans un réservoir, est toujours prêt à être employé pour le fonctionnement, bien connu, des freins à air comprimé.

Le conducteur-mécanicien a seul sous la main la commande de ce frein.

Appareils pour éviter les accidents de personne. — L'application de la traction électrique aux tramways a conduit à augmenter la vitesse moyenne de ceux-ci; un tramway à chevaux qui marche, en ville, à 8 kilomètres à l'heure, une fois transformé en tramway électrique, marche en moyenne à 12 kilomètres.

Il en résulte, quand la substitution est faite, un plus grand

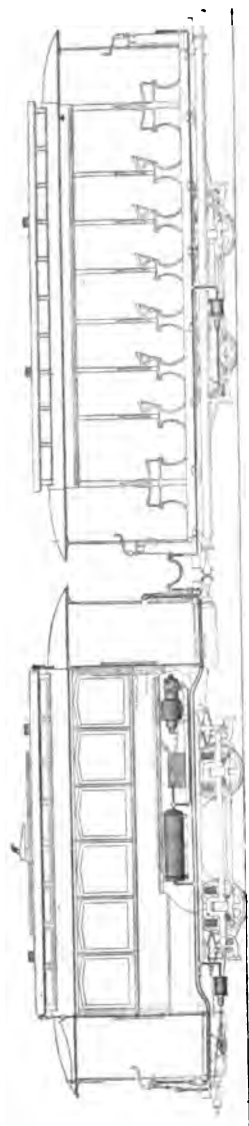


Fig. 187. — Frein à air comprimé, appliqué à deux voitures attelées.

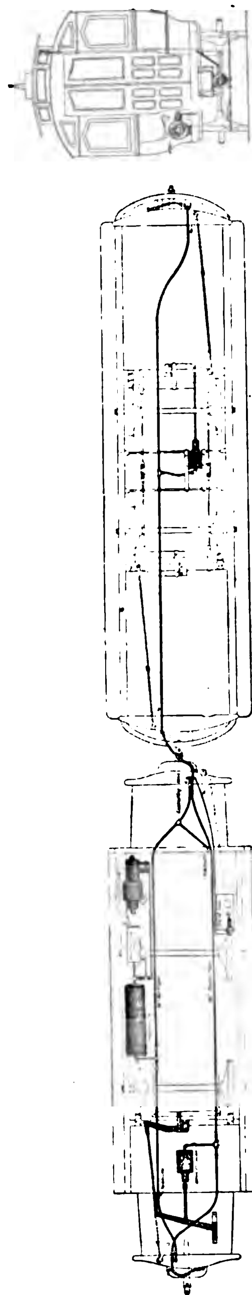


Fig. 188. — Vue en plan.

Fig. 189.—Vue en bout.

nombre d'accidents de toutes sortes et spécialement des accidents de personnes, le public mettant un certain temps à comprendre que, la vitesse étant augmentée, il doit être plus prudent.

Pour éviter cet inconvénient qui est préjudiciable à l'exploitation des tramways électriques, au point de vue moral et matériel (indemnités à payer aux victimes), on emploie des appareils spéciaux, appelés, en Amérique, *fenders* (que l'on pourrait appeler parachutes protecteurs), qui se placent à l'avant de la voiture.

Le principe appliqué est à peu près le même dans les divers types d'appareils qui ont été créés, spécialement en Amérique. C'est une sorte de filet à larges mailles, supporté par un cadre métallique, monté à pivot, qui rase la surface du sol. Généralement, un pneumatique en caoutchouc borde ce cadre et amortit ainsi le choc de la personne tamponnée qui vient tomber dans ce filet, où elle ne se fait aucun mal. Cet appareil est placé à poste fixe à l'avant de la voiture. Il existe aussi des modèles de ces appareils dont le filet est dis-



Fig. 190.

simulé sous l'avant de la voiture et qui est amené en avant, par le mécanicien, quand un accident devient possible.

Nous donnons, dans les figures 190 à 192, les principaux types de ces appareils.

L'emploi de ces protecteurs a diminué, principalement en Amérique, les fortes indemnités que les accidents de personnes occasionnaient aux Compagnies exploitantes, et il est à souhaiter que l'emploi s'en généralise, dans les grandes villes où les accidents sont si fréquents.

Quoi qu'il en soit, tous les trucks de tramway électrique se terminent, à l'avant et à l'arrière, par un protège-corps qui diminue les chances d'écraser la personne qui est accidentellement tamponnée. De plus, des garde-roues empêchent les accidents latéralement.

Pour démontrer l'importance des accidents dont nous

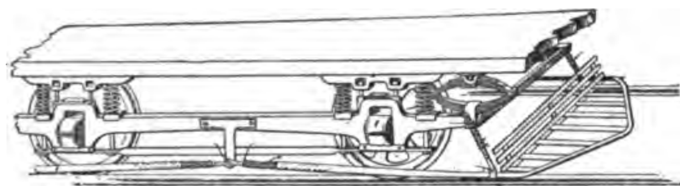


Fig. 191.

parlions avec les tramways électriques, nous donnons une statistique (1), établie pour les villes de Minneapolis et Saint-Paul, en Amérique, pendant les mois de janvier et février 1895 et 1896 (Voir tableau, page 221).

On voit que ce système de protecteurs diminue, dans une assez grande proportion, le nombre des accidents de personnes sur l'ensemble des autres accidents, et que son utilité ne peut être contestée dans les villes encombrées.

Un autre document donne une idée de l'efficacité de ces appareils, dits « fenders ». Dans l'Etat de Massachusetts, le rapport des accidents *mortels* aux accidents de toute nature était de 12 pour cent, avant l'existence de ces appareils ; après l'installation des fenders, ce rapport est tombé à 1,7 pour

(1) *The Street-Railway Journal*, juin 1896.

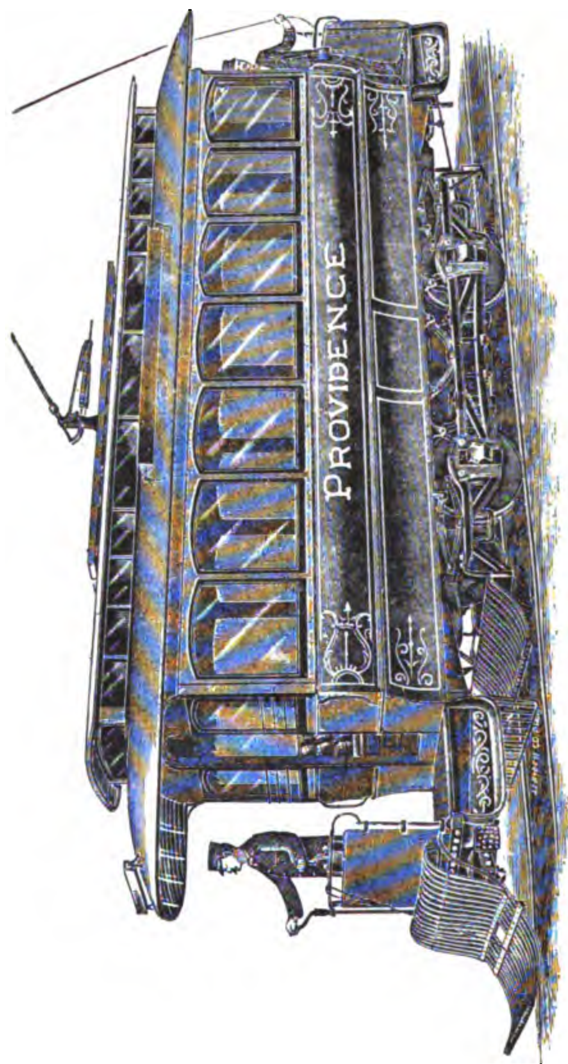


Fig. 192. — Fender à poste fixe.

NATURE DE L'ACCIDENT	ANNÉE 1895								ANNÉE 1896							
	JANVIER				FÉVRIER				JANVIER				FÉVRIER			
	Minneapolis	Saint-Paul	Interurbain	Total	Minneapolis	Saint-Paul	Interurbain	Total	Minneapolis	Saint-Paul	Interurbain	Total	Minneapolis	Saint-Paul	Interurbain	Total
Rencontres de tramways avec des personnes.	3	4	2	9	6	4	1	11	6	6	1	13	1	1	»	2
— — des véhicules..	37	29	3	69	29	27	6	62	29	20	9	58	24	13	9	46
— — des animaux..	1	7	1	9	2	1	»	3	2	3	1	6	5	»	»	5
Rencontres de deux tramways............	13	3	2	18	8	3	1	12	4	7	»	11	8	6	1	15
Effrayements de chevaux	17	5	2	27	10	6	4	20	10	6	2	18	5	1	»	6

cent. Pour terminer, disons que, dans ce même État, sur 347 personnes renversées par des voitures électriques munies de fender, 68,5 pour cent ne reçurent que des contusions sans importance, ou même ne furent pas blessées du tout; 14,5 pour cent furent blessées sérieusement, et seulement 17 pour cent furent tuées.

On doit donc conclure à l'adoption de ces appareils, dont le prix est peu élevé, et qui diminuent les indemnités que les Compagnies exploitantes ont à payer en cas d'accidents mortels ou de blessure grave.

Éclairage des voitures. — Quel que soit le genre du trolley employé, on prend une dérivation sur le fil de trolley

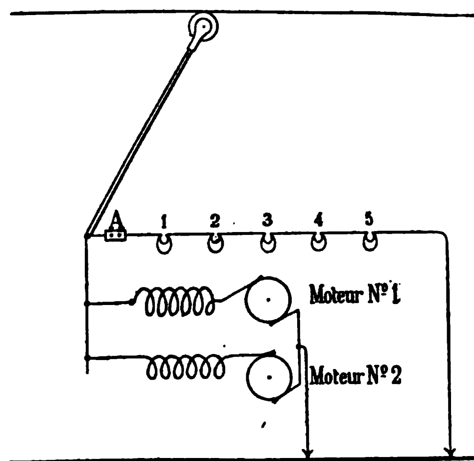


Fig. 193. — Éclairage électrique des voitures : disposition schématique.

pour faire l'éclairage de la voiture (*fig.* 193). En A, sont: un coupe-circuit, qui protège les lampes, et un interrupteur, qui permet de couper ce circuit. Comme la tension moyenne est de 500 volts, on place en série 5 lampes de 10 ou 16 bougies et de 100 volts chaque, avec une résistance et un court-circuit automatique, pour éviter l'extinction de l'ensemble, si l'une des lampes vient à se briser ou à brûler.

Le retour du courant se fait par les rails.

Cette disposition a un désavantage : au moment du démarrage de la voiture, les moteurs demandent un courant intense qui fait baisser la tension : il en résulte, à ce moment, un vacillement de l'intensité lumineuse.

Chauffage des voitures de tramways. — *Chauffage au moyen de briquettes.* — L'appareil se compose d'une caisse en fonte A, dont la hauteur est de 22 centimètres, la

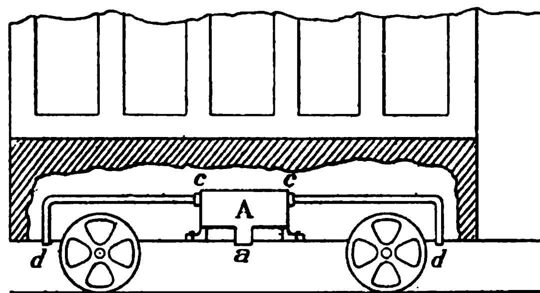


Fig. 194. — Chauffage des voitures de tramways au moyen de briquettes.

longueur de 50 centimètres, et la largeur de 17 centimètres (*fig.* 194). Cette caisse est placée sous les banquettes et munie d'une conduite d'appel *a* et de dégagement *cc*; l'air pénètre par l'ouverture *a*, se réchauffe au contact des briquettes placées dans la caisse A, et s'échappe par les tuyaux *cc* qui débouchent en *dd*, au niveau du plancher de la voiture.

Selon la température à obtenir, on place dans l'appareil une, deux ou trois briquettes portées au rouge ; ces briquettes brûlent de sept à neuf heures, et coûtent chacune 10 centimes. Le chauffage se fait ainsi sans dégagement d'oxyde de carbone. Pour un tramway ordinaire le chauffage revient à 75 centimes par jour, ce qui donne par voiture-kilomètre le prix de 0,5 centime, pour le parcours

moyen de 150 kilomètres. Le prix de l'appareil est d'environ 75 francs.

Ce mode de chauffage est surtout employé en Allemagne : les tramways électriques de Mulhouse, de Hanovre, de Copenhague, de Bonn, emploient ce système qui donne jusqu'à présent complète satisfaction.

Un autre mode de chauffage consiste à employer un poêle à combustion lente, qui est placé latéralement au milieu de la voiture : ce mode de chauffage est aussi employé en Amérique.

Chauffage électrique. — Le chauffage par l'électricité des voitures de tramways électriques est le plus rationnel ; il a cependant l'inconvénient de coûter un peu cher.

Ce chauffage est effectué au moyen de résistances placées généralement sous le plancher de la voiture ; on envoie le courant nécessaire au démarrage de la voiture dans ces résistances, et, si la température l'exige, on envoie du courant pris directement sur la ligne.

En Amérique, ce mode de chauffage a pris une grande extension. Actuellement 750 voitures du Westend Street Railway et 500 voitures du Brooklyn-Steights-Railroad sont chauffées par ce système. Ce service est entrepris par une Compagnie spéciale de chauffage qui en soigne les détails et l'entretien, suivant un prix forfaitaire par voiture.

En moyenne, on peut compter que, pour chauffer une voiture de capacité moyenne, il suffit de 6 à 8 ampères, sous 500 volts.

Entretien et conduite des voitures de tramways. — Nous donnons quelques indications générales sur l'entretien et la conduite des tramways. Il serait difficile d'énumérer toutes les précautions à prendre, car chaque jour amène des observations nouvelles, dont le praticien seul profite et que seul il peut bien connaître. Nous indiquerons les principales précautions à prendre.

Tous les jours, à la fin du service journalier, les voitures

de tramways rentrent au dépôt. En arrivant, le conducteur-électricien doit dégager la roue du trolley du fil de travail, et cela en se servant de la cordelette attachée près de la roue.

Le lendemain, avant le départ de sa voiture, il doit veiller aux prescriptions données plus loin, pour ce qui concerne les moteurs et les appareils de manœuvre. Avant de replacer la roue du trolley sur le fil de travail, il doit contrôler que le circuit des moteurs est ouvert : il place alors la roue du trolley, de façon que celle-ci roule librement. Il s'assure que tous les appareils de manœuvre sont en bon état et n'ont pas été détériorés ou dérangés par les hommes qui ont lavé et nettoyé les voitures. Après cet examen minutieux, dont dépendra la bonne marche de la voiture pendant la journée, il fait les manœuvres nécessaires à mettre la voiture en marche.

Il peut arriver qu'après avoir essayé d'envoyer le courant dans les moteurs la voiture reste en place : cela veut dire qu'il y a un court-circuit aux moteurs, ou bien que le courant passe directement du trolley dans les rails de retour, ou enfin que le circuit est coupé. Pour s'en assurer, il essaye d'allumer les lampes de la voiture : si elles ne s'allument pas, cela veut dire que le courant n'est pas sur le fil de travail (si le coupe-circuit n'est pas fondu) et qu'il y a un arrêt ou un accident à la station génératrice; cette épreuve le fixe déjà sur un point. Il se peut également que de la boue ou tout autre obstacle empêche, par hasard, le contact électrique entre les roues et les rails; on les réunit alors directement par un fil de cuivre, qui, sur beaucoup de voitures, y est placé à demeure pour cet usage.

Pour se mettre en vitesse ou arrêter la voiture, il faut manœuvrer graduellement, avec précaution et dans le sens convenable, le controlleur. Le conducteur doit toujours éviter d'arrêter la voiture en courbe, sauf en cas d'accident, car, pour remettre la voiture en marche, on dépense inutilement une quantité supplémentaire d'énergie électrique et qui est perdue sans résultat ; et, dans la mise en marche en courbe, les engrenages de réduction arrivent facilement à coïncer, d'où résultent une usure anormale et souvent des

ruptures. De plus, pour effectuer le démarrage dans ces conditions, il faut envoyer aux moteurs un supplément de courant tel que l'on risque de brûler les induits ou, tout au moins, de les détériorer.

La marche en arrière ne doit jamais se faire, sauf en cas d'accident ou de force majeure.

Quoi qu'il en soit, que l'on marche en alignement droit ou en courbe, le conducteur-électricien doit se rappeler toujours qu'il a des précautions constantes à prendre et que toutes secousses ou autres trépidations doivent être évitées, car elles ont une influence directe sur la conservation des moteurs électriques et de la partie mécaniqne. Comme on le voit par ces quelques remarques, la conduite d'une voiture électrique exige un homme soigneux, intelligent. C'est pourquoi l'on ne saurait trop protester contre la tendance fâcheuse que les Compagnies exploitantes ont de confier la manœuvre et la conduite des tramways électriques à des hommes inexpérimentés.

Conduite des tramways. — Bien souvent, en effet, les conducteurs-mécaniciens (que l'on appelle souvent, de leur nom américain, le *wattman* ou le *motorman*) sont recrutés parmi les cochers des tramways à chevaux, qui ont été transformés en tramways électriques.

C'est là, à notre sens, une erreur, car les conditions de conduite d'un tramway mécanique sont absolument différentes de celles de la conduite d'un tramway à chevaux.

Le conducteur-mécanicien doit posséder des connaissances plus étendues et savoir ce qu'il peut demander aux organes mécaniques et électriques qui lui sont confiés. De plus, l'augmentation du poids de la voiture et les grandes vitesses obtenues avec la traction électrique font qu'il doit posséder plus de sang-froid et de promptitude dans la décision.

Il ne faut donc confier la conduite des tramways électriques qu'à des hommes expérimentés et intelligents ; on pourrait même exiger d'eux les aptitudes physiques, les garanties d'expériences et certaines des connaissances qui sont demandées aux mécaniciens dans les chemins de fer.

De plus, il serait bon d'édicter des règlements d'intérêt général pour la marche des tramways mécaniques et électriques, qui serviraient ainsi à établir les responsabilités dans les accidents qui peuvent survenir et qui certainement limiteraient la possibilité de ces accidents.

Nous savons qu'une Commission a été nommée à cet effet; mais, à notre connaissance, elle n'a encore rien arrêté de définitif. Nous ne saurions trop insister sur ce point, car nous estimons que le développement de la traction mécanique, en général, et en particulier celui de la traction électrique, seront puissamment aidés, si des règlements bien précis établissent les droits de chacun et sauvegardent aussi bien les intérêts des Compagnies de tramways que ceux des particuliers.

Marche sur les rampes et pentes. — Les tramways électriques par fil aérien ont l'avantage de pouvoir gravir les rampes à une vitesse dont la limite est fixée par la nature du moteur électrique et de sa puissance. Le moteur enroulé en série est moins avantageux sur un profil à très fortes rampes que le moteur enroulé en dérivation, car dans ce dernier le rendement est plus élevé; la pratique semble démontrer que, sur une ligne dont le profil présente des rampes fréquentes au-dessus de 6 pour cent, il vaut mieux employer ce genre de moteur. Il ne faudrait pas cependant vouloir monter les fortes rampes en vitesse, car on fait cracher les moteurs, et des étincelles peuvent également se produire au commutateur : ce qui entraîne un entretien coûteux. De plus, la station génératrice serait momentanément surchargée, et il faudrait prévoir à la station une capacité susceptible de l'élasticité convenable. Il faut donc monter les rampes à moyenne vitesse : cela permet d'employer des moteurs en série qui ne présentent pas les inconvénients énumérés ci-dessus. On perd un peu de temps, mais personne ne s'en aperçoit. C'est ainsi que M. Foster cite les essais qu'il a faits sur une ligne de 10 kilomètres, ayant 5 fortes rampes; le temps perdu, résultant de la diminution de vitesse, était de 1 minute et demie à l'aller : soit 3 minutes pour le

voyage complet qui durait 50 minutes. On voit donc que cette perte de temps est pratiquement négligeable.

Les plus fortes rampes que l'on a gravies varient de 14,5 pour cent (ligne de San-Francisco) à 25 pour cent (Chicago). Ces fortes rampes à l'aller, qui deviennent pentes au retour, demandent, pour les descendre, des précautions spéciales, car le poids de la voiture tend à accélérer la vitesse, qui ne peut être enrayée qu'avec l'aide des freins. Le moyen employé pour descendre les pentes rapides est d'arrêter complètement la voiture au commencement de la déclivité, et de serrer les freins autant que cela est possible; mais il ne faut jamais caler les roues en bloquant le frein, le travail absorbé étant maximum au moment où le calage commence. Ce qu'il faut surtout éviter, c'est de bloquer les freins et de lancer cependant le courant dans les moteurs pour que les roues ne puissent se caler : la manœuvre devient en effet compliquée s'il faut arrêter brusquement la voiture, et cela peut occasionner de graves accidents. Enfin, cette façon de procéder gaspille de l'énergie électrique, et n'est pas économique à tout point de vue.

C'est surtout dans la marche sur les pentes que le mécanicien doit veiller et déployer une attention de tous les instants, et sur les lignes à profil très accidenté on ne saurait trop recommander aux Compagnies de faire conduire les voitures par des mécaniciens intelligents et pleins de sang-froid : ce serait le cas de mettre en pratique l'ensemble des aptitudes que nous voudrions trouver chez les conducteurs mécaniciens des tramways électriques.

Entretien des moteurs électriques et des appareils de manœuvre. — L'un des principaux soins à donner aux moteurs est de veiller à ce qu'il n'y ait pas d'excès d'huile ou de graisse, qui puisse se répandre sur les diverses parties, car alors, avec l'agglomération des poussières, cela forme une sorte de cambouis qui peut occasionner des courts-circuits, soit sur le collecteur, ou d'autres parties du moteur.

De plus, il faut que le graissage soit fait d'une façon

méthodique pour éviter l'échauffement des paliers; le graissage, au moyen de bagues, est l'un de ceux, à notre avis, qui est le plus recommandable.

L'ensemble des pièces du moteur devra être tenu très propre : l'armature et les connexions seront l'objet de soins particuliers et d'une surveillance spéciale.

Les balais des moteurs, généralement en charbon, seront surveillés, de façon à augmenter leur longueur lorsqu'une usure trop grande aura été atteinte; on évitera ainsi la production et le claquement des étincelles qui détruisent le collecteur.

L'engrenage de réduction de vitesse du moteur est généralement placé dans une boîte en fonte remplie d'huile; on évite ainsi le bruit désagréable que ces engrenages feraient s'ils marchaient dans les conditions ordinaires, et cette boîte les protège, en outre, contre les dépôts de boue et de poussière. On ouvrira de temps en temps cette boîte pour visiter l'état des engrenages et vérifier si la quantité d'huile est suffisante.

Avant de mettre en marche les moteurs, il faut veiller à ce que les connexions soient bien faites. Les appareils de manœuvre, le controlleur et les commutateurs peuvent être avantageusement lubréfiés légèrement, soit avec de la vaseline ou de la paraffine.

En somme, le principe qui doit guider le conducteur-électricien, c'est que la bonne marche de la voiture dépend de tous ces détails et qu'il doit s'assurer, avant le départ, que chaque chose est bien à sa place.

Il devra examiner également le trolley et veiller à ce que la roue du trolley porte bien franchement sur le fil de travail, afin d'obtenir un bon contact; il devra également s'assurer que les ressorts de la tige de trolley agissent efficacement pour appuyer sur le fil de travail, afin d'avoir la pression mécanique nécessaire au bon contact électrique qui assurera la bonne marche de la voiture.

Application du téléphone aux tramways électriques. — Pour l'exploitation des lignes à grand trafic, ou

pour celles dont le réseau est très étendu, il arrive souvent, pour une cause quelconque, un accident aux moteurs, par exemple : il est très utile de faire connaître cet embarras aux intéressés. On a pensé à employer, à cet effet, les communications téléphoniques. Le fil téléphonique est placé sur les poteaux métalliques qui soutiennent déjà le fil de travail. On a soin de se mettre dans des conditions telles que l'influence des courants n'ait aucun effet sur ces fils téléphoniques.

Chaque voiture est munie d'un poste téléphonique complet, transmetteur et récepteur ; ces appareils sont reliés au trolley et aux roues de la voiture; pour communiquer, on arrête la voiture, on applique la perche de trolley sur le fil téléphonique, et l'on cause à la façon ordinaire.

Cette innovation, confirmée par la pratique, supprime tout retard dans l'exploitation et augmente la sécurité du trafic.

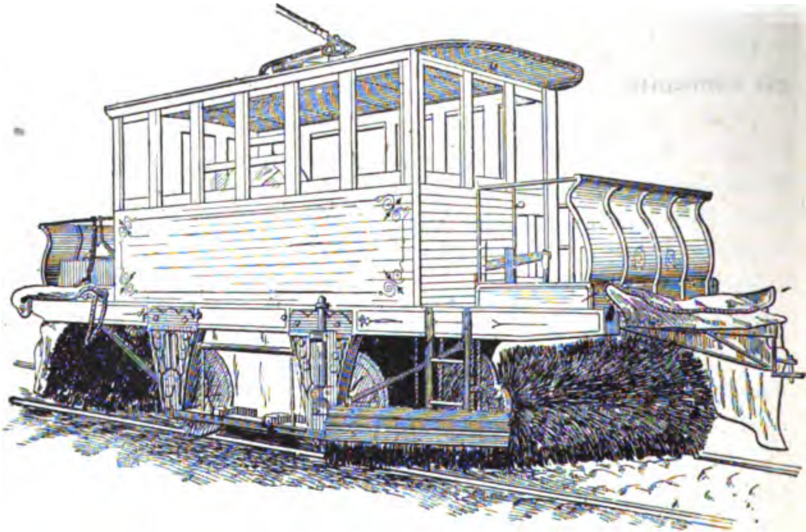


Fig. 195. — Balayeuse électrique circulant sur une ligne de tramways électriques.

Entretien de la voirie. — ***Balayage, arrosage, enlèvement des neiges.*** — L'emploi de la traction électrique permet de faciliter l'entretien de la voirie, au point de vue du balayage, de l'arrosage et de l'enlèvement des neiges.

Balayage. — Pour le balayage on a combiné une voiture à trolley, sur laquelle sont montées, à l'avant et à l'arrière, des balayeuses, mues au moyen d'un moteur électrique (*fig.* 195).

Arrosage. — Pour l'arrosage, une voiture remplie d'eau circule sur la voie, le trolley envoyant du courant à un ou deux moteurs qui commandent les essieux à la façon ordinaire (*fig* 196). Une autre disposition est employée également :

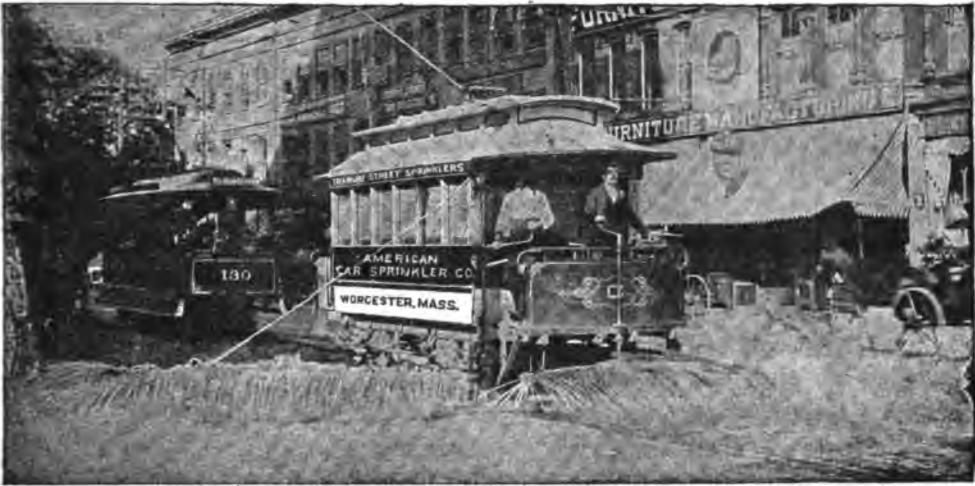


Fig. 196. — Arrosage des rues au moyen de tramways-arrosoirs électriques.

à l'arrière d'un fourgon, est placé l'appareil distributeur d'eau, qui est semblable à celui dont sont munies les voitures-arrosoirs; on peut employer des dispositifs spéciaux comme ceux en usage en Amérique (*fig.* 197).

Enlèvement et balayage des neiges. — Le balayage et l'enlèvement des neiges est fait au moyen d'une voiture spéciale, composée d'un appareil balayeur qui ramasse la neige et l'envoie dans un petit fourgon placé à l'arrière ; quand celui-ci est plein, il est remplacé par un vide.

Il existe également des appareils qui servent, en temps de neige, à répandre, sur la voie obstruée, du sel qui facilite

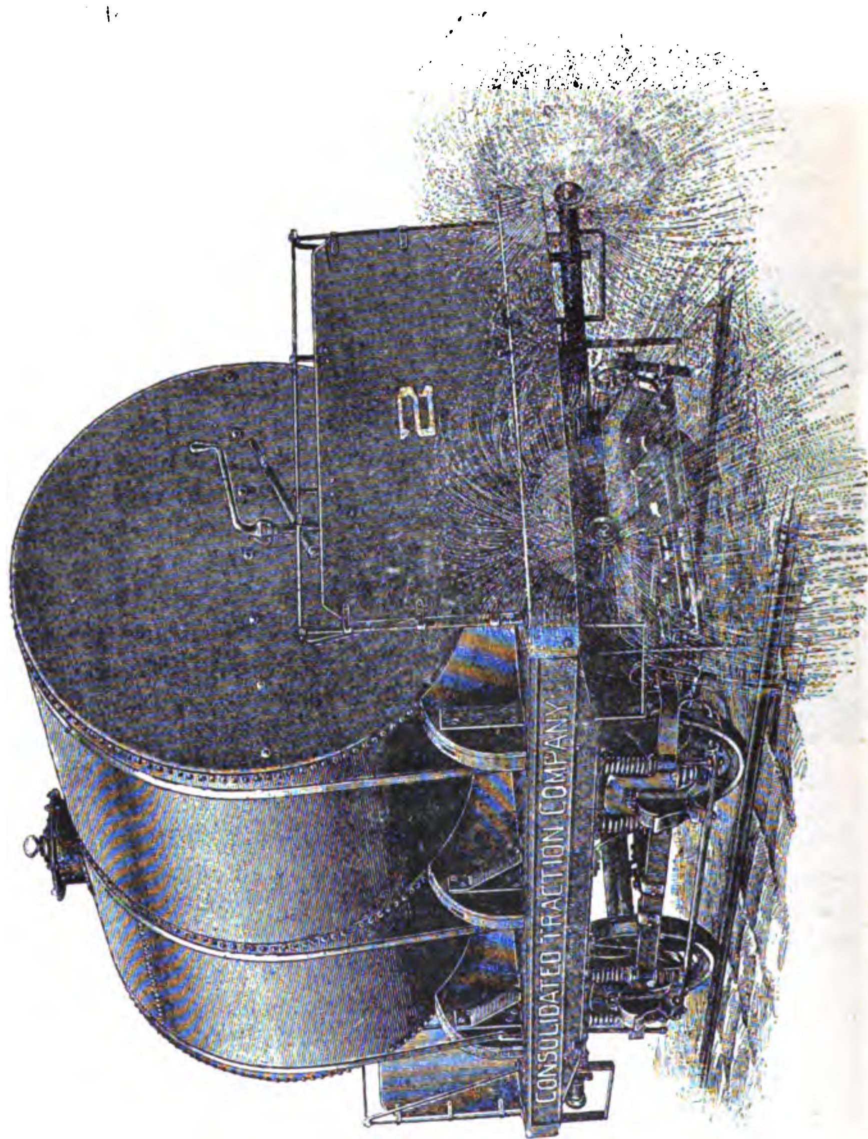


Fig. 197. — Arroseur remorqué électriquement.

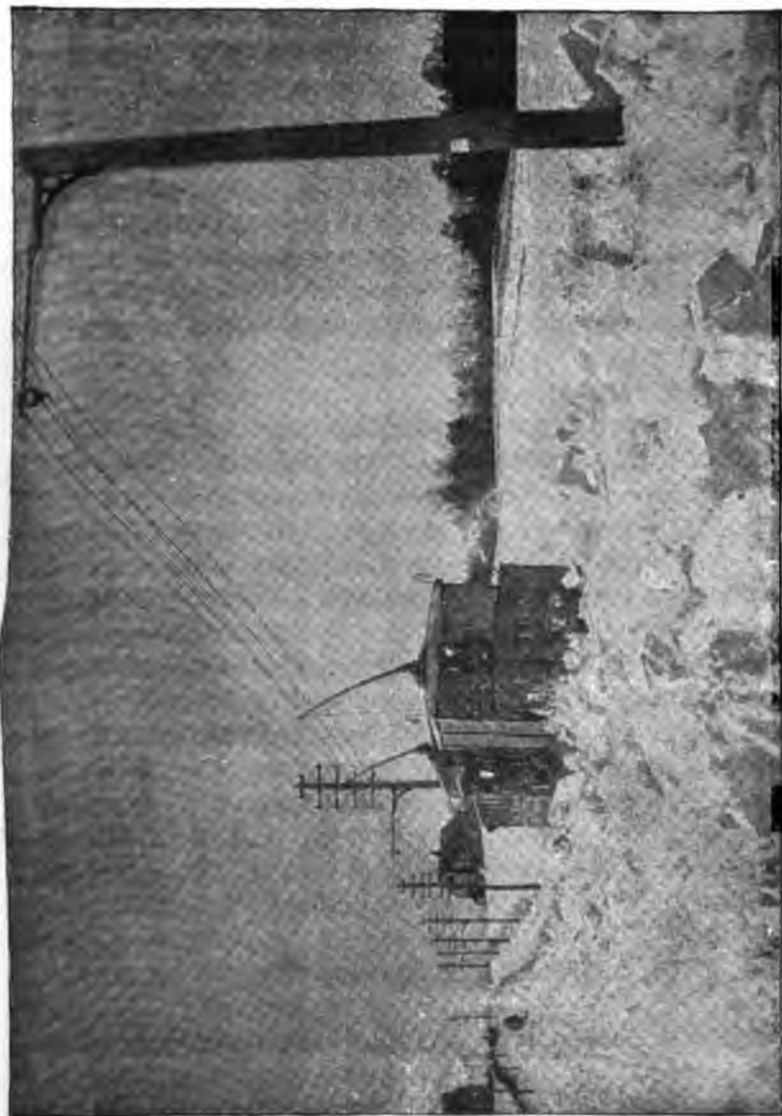


Fig. 198. — Chasse-neige électrique sur une ligne de tramway.

la fonte; la balayeuse électrique vient ensuite dégager et nettoyer la voie.

L'application de la traction électrique à ces différents services de voirie a été spécialement pratiquée en Amérique; en Europe il en existe bien peu d'exemples.

Application des courants alternatifs à la traction électrique. — Jusqu'à présent, dans tout ce qui a été décrit précédemment, nous avons supposé que l'on employait uniquement du courant continu. Si l'application des courants alternatifs à la traction électrique n'a encore pris presque aucune extension, la principale raison en est au moteur à courant alternatif qui, dans les conditions actuelles, ne satisfait pas à la condition essentielle de démarrer *sous charge complète*.

On trouverait cependant de grands avantages, dont les principaux sont les suivants, à l'emploi des courants alternatifs *en traction :* on supprimerait presque totalement les effets dus à l'électrolyse; on pourrait augmenter facilement la longueur des réseaux, sans grandes dépenses dans les feeders, comme avec le courant continu, et, dans le cas de réseaux étendus, n'avoir qu'une seule station génératrice, au lieu de plusieurs, comme on le fait actuellement. Avec l'emploi des courants à haute tension, transformés ensuite en basse tension pour l'utilisation, on économiserait du cuivre dans l'établissement des lignes. Enfin, les frais d'ensemble de premier établissement du matériel seraient moins élevés qu'avec le courant continu, surtout dans les réseaux un peu étendus. De plus, si l'on avait un bon moteur à courant alternatif, on supprimerait du même coup l'entretien des collecteurs et des balais, puisque l'on emploierait des moteurs ne présentant aucun de ces organes; enfin, la simplicité de construction du moteur à courant alternatif et sa robustesse assurent un entretien peu coûteux et un fonctionnement sûr.

En somme, il résulterait de l'application des courants alternatifs à la traction un ensemble d'avantages qu'ont déjà compris certains constructeurs qui étudient et cherchent

à établir un bon moteur, car c'est de cette réalisation que dépend seulement la solution du problème.

Les quelques applications de traction, actuellement en pratique, où l'on emploie le courant alternatif, sont réalisées au moyen de courants polyphasés, car dans cette voie l'on possède un moteur répondant à tous les désidérata.

C'est avec ce système qu'a été réalisé le tramway de Lugano, installé par la maison Brown-Boveri et Cie (Baden).

Nous ne donnerons pas la description complète de ce tramway, mais nous ferons remarquer quelques points intéressants. Ce système exige deux trolleys, le retour du courant se faisant par les rails. La pratique a démontré que cette complication apparente ne donnait aucune difficulté dans la pratique.

Les moteurs polyphasès se comportent d'une façon remar-

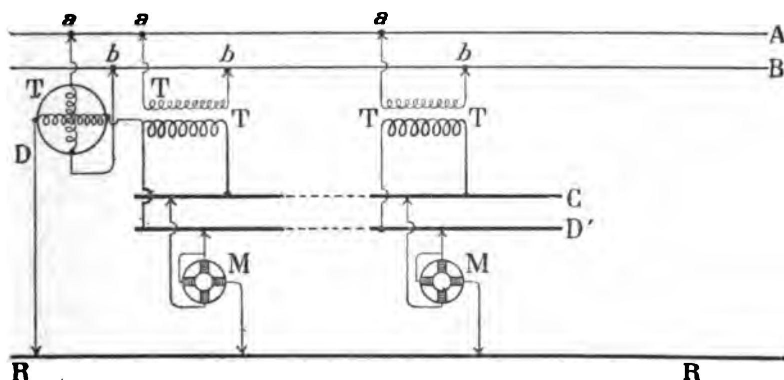


Fig. 199. — Schéma de la disposition proposée par MM. Ferraris et Arno pour l'alimentation des tramways électriques par courants alternatifs.

quable, leur conduite est au moins aussi facile que celle des moteurs à courant continu. L'entretien, en général, du matériel électrique est réduit à sa plus simple expression.

Une autre application intéressante est celle qui a été faite à Dublin. Le système est mixte ; on emploie le courant triphasé pour alimenter des sous-stations où ce courant est transformé en courant continu et alimente, à la façon ordinaire. les moteurs des voitures.

L'emploi des courants alternatifs appliqués à la traction électrique serait extrêmement facilité par l'application du système de distribution, proposé par MM. G. Ferraris et R. Arno. Le courant monophasé à *haute tension* arrive par les deux fils A et B (*fig.* 199).

Pour effectuer le démarrage des moteurs MM du tramway, on fait usage pendant un instant du transformateur à décalage TD qui permet de transformer le courant monophasé en biphasé : le démarrage des moteurs à pleine charge est ainsi rendu possible à ce moment ; quand le moteur a atteint sa vitesse de régime, on continue à l'alimenter par du courant *monophasé*, ramené à une tension pratiquement utilisable par les transformateurs ordinaires TT. La prise du trolley s'effectue sur les fils CD, le retour se faisant par les rails ou, mieux, par un fil de cuivre nu, placé le long de la voie dans le sol et en communication avec les rails.

Quoi qu'il en soit, la véritable solution, à notre avis, sera trouvée, quand il existera un moteur pratique à courant alternatif monophasé démarrant sous charge complète. On supprimera ainsi toutes les complications actuelles qui empêchent les praticiens d'appliquer le courant alternatif à la traction électrique. D'après quelques renseignements que nous possédons, nous croyons que ce problème ne tardera pas à être résolu, et le courant alternatif entrera en lice pour faire, au courant continu, une concurrence qui, selon nous, sera grosse de conséquences pratiques.

CHAPITRE V

PRIX DE PREMIER ÉTABLISSEMENT DU MATÉRIEL EN GÉNÉRAL

Données se rapportant à la station centrale : terrain, bâtiment. — Matériel d'usine comprenant : chaudières, machines à vapeur, dynamos et accessoires. — Matériel roulant : voitures sans impériale et avec impériale. — Ligne : prix d'établissement au kilomètre avec des poteaux de différents genres. — Prix unitaires : fil de travail. — Alimentation du fil de travail ou feeder. — Circuit de retour. — Poteaux en bois et poteaux métalliques. — Prix d'établissement d'un kilomètre de ligne équipée avec le système électro-magnétique. — Résumé concernant le prix moyen d'établissement d'un kilomètre de ligne. — Devis général pour un cas déterminé : prix par kilomètre. — Résumé statistique des dépenses et répartition des frais de premier établissement par kilomètre en Amérique. — Dépenses d'exploitation et revenus de ces mêmes lignes.

On commence à être fixé, en Europe, sur les prix d'établissement du matériel destiné à la traction électrique. Nous allons examiner les prix qui s'y rapportent, dans les paragraphes suivants :

A. *Terrain* ; — B. *Bâtiment* ; — C. *Matériel d'usine* (mécanique et électrique) ; — D. *Voie* ; — E. *Ligne* ; — F. *Matériel roulant.*

STATION CENTRALE

A. **Terrain.** — Ce prix est variable suivant la situation : dans une ville de province, on peut compter de 5 à 10 francs le mètre carré ; en dehors de l'octroi, de 3 à 5 francs.

B. **Bâtiment.** — Pour évaluer le prix d'un bâtiment de station centrale destiné à la traction électrique, l'on prend le

prix global par mètre carré de surface couverte. Si l'on construit un bâtiment industriel, c'est-à-dire d'où le luxe est exclu, l'on peut compter sur une moyenne de 50 à 55 francs par mètre carré superficiel couvert. Ce prix se décompose ainsi :

Briquetage (briques de $0^m,11$)....	10 fr.	le mèt. car.	superficiel.
Charpente en fer...............	30	—	—
Couverture.....................	12	—	—
	52 fr.		

La charpente se trouve un peu augmentée, si l'on prévoit un pont roulant devant soulever de lourdes charges.

Dans le chapitre *Bâtiment* on peut faire rentrer les fondations nécessaires au matériel-machines. Les prix moyens sont les suivants :

Massif en béton ordinaire pour fondations de machines, à 20 francs le mètre cube (dans le cas d'un bon sol); le prix peut s'élever de 25 à 28 francs, selon les difficultés rencontrées.

Pour les fondations des chaudières, on peut compter de 16 à 18 francs le mètre cube.

Nous estimons que, pour calculer le prix d'établissement du bâtiment, il est seulement pratique de prendre, comme base, la surface nécessaire pour l'installation des machines; suivant qu'on emploie des machines verticales ou horizontales, la superficie nécessaire peut varier du simple au quintuple. Cependant, si l'on voulait rapporter le prix des bâtiments par cheval-vapeur installé, on pourrait compter, *comme première approximation*, avec des machines horizontales à vitesse lente, de 200 à 250 francs le cheval-vapeur, et avec des machines verticales à grande vitesse, de 125 à 150 francs le cheval-vapeur.

C. **Matériel d'usine comprenant : chaudières, machines à vapeur, dynamos, tableaux et accessoires.** — Nous rapporterons le prix d'établissement à la puissance nécessaire pour un nombre donné de voitures en

service, et cela dans des conditions moyennes, c'est-à-dire que ces voitures pèseront 10 tonnes, auront une vitesse moyenne de 12 kilomètres à l'heure, et graviront des rampes maxima de 5 millimètres par mètre.

Pour un service journalier de 6 voitures, il faudra à l'usine 100 kilowatts installés, à 1.500 francs le kilowatt installé, soit une dépense de 150.000 francs ; pour 15 voitures, il faudra 200 kilowatts installés, à 1.300 francs le kilowatt installé, soit une dépense de 260.000 francs ; pour 40 à 50 voitures, on devra compter 10 kilowatts par voiture, soit 400 à 500 kilowatts, de 1.100 à 1.000 francs le kilowatt installé, soit une dépense de 440.000 à 500.000 francs. Pour un service journalier dépassant 100 voitures, sur un même réseau, la limite de puissance nécessaire à l'usine par voiture sera de 8 kilowatts, soit, pour 100 voitures, 800 kilowatts installés, à 1.000 francs le kilowatt installé, soit une dépense de 800.000 francs. Ces prix ne comprennent ni les prix du terrain, ni celui des bâtiments.

Les renseignements ci-dessus peuvent servir d'une façon courante pour calculer rapidement le prix approximatif d'établissement d'une ligne pour un trafic donné.

Nous allons étudier de plus près les prix qui se rapportent au matériel fixe, y compris les bâtiments.

Le tableau suivant donne la dépense à faire pour le matériel fixe, dans différents cas de stations centrales de puissance variable.

MATÉRIEL FIXE

Puissance disponible en chevaux-vapeur.........	200	300	500	600	800	900	1 000	1 200	1 500	1 800	2 000	2 500	3 000	3 500	4 500	6 000
Puissance disponible en kilowatts.	150	230	380	440	610	680	736	890	1 120	1 350	1 480	1 860	2 220	2 600	3 350	4 440
Prix en francs des bâtiments et terrain...........	60 000	90 000	140 000	168 000	215 000	230 000	250 000	280 000	345 000	410 000	440 000	500 000	600 000	640 000	680 000	780 000
Chaudières, machines à vapeur et accessoires....	50 000	75 000	125 000	145 000	180 000	200 000	215 000	240 000	300 000	360 000	400 000	500 000	600 000	650 000	800 000	1 000 000
Machines dynamos, tableaux et accessoires..........	50 000	75 000	125 000	140 000	175 000	200 000	190 000	230 000	290 000	345 000	380 000	480 000	570 000	620 000	750 000	970 000
Prix total en francs	160 000	240 000	390 000	453 000	570 000	630 000	655 000	750 000	835 000	1 115 000	1 220 000	1 480 000	1 770 000	1 910 000	2 230 000	1 850 000
Nombre de voitures en service.......	9 à 10	18 à 20	28 à 30	35 à 40	55 à 58	60 à 65	70	85	95 à 100	130	145	180	220	250	300	400
Soit par voiture à la station centrale.	16 000	12 500	12 000	11 300	9 700	9 700	9 360	8 900	8 800	8 570	8 410	8 220	8 040	7 640	7 430	4 620

Pour donner une idée du prix total que l'installation de lignes électriques, présentant différents trafics, peut coûter. nous donnons dans le tableau suivant les prix d'équipement pour différentes puissances, installées à la station centrale, capable d'alimenter le réseau complètement équipé.

Ces prix comprennent toute l'installation, excepté celle de la voie proprement dite, et, si on les compare au tableau précédent, pour le matériel fixe, on voit que les prix pour un même trafic, sont à peu près concordants, à 10 pour cent près environ en moyenne.

Nombre de voitures en service	FORCE MOTRICE		PRIX EN FRANCS		Prix global du matériel fixe	Prix global du matériel fixe par voiture	PRIX EN FRANCS		Prix global du matériel roulant et de la ligne électrique	Prix global du matériel roulant et de la ligne électrique par voiture	Prix total, non compris la voie proprement dite	Prix total par voiture
	En chevaux-vapeur	Puissance des génératrices en kilowatts	des chaudières, machines à vapeur et accessoires	Du matériel électrique de la station centrale			Des voitures et matériel roulant	De la ligne électrique: 800m par voiture en service				
a	b	c	d	e	d + e	f	g	h	g + h	i	d + e + g + h	j
6	110	80	35 000	32 000	67 000	12 810	98 000	38 000	136 000	22 665	203 000	33 830
10	225	150	55 000	53 000	108 000	10 800	163 000	63 000	226 000	22 600	334 000	33 400
15	375	240	87 500	75 000	162 000	10 800	244 000	150 000	394 000	26 260	556 000	37 000
20	450	300	110 000	85 000	195 000	9 750	325 000	200 000	525 000	26 250	720 000	36 000
25	550	360	130 000	100 000	230 000	9 200	405 00	325 000	730 000	29 200	960 000	38 400
30	670	450	140 000	110 000	250 000	8 330	485 000	450 000	935 000	31 165	1 185 000	39 500
35	710	460	170 000	129 000	299 000	8 540	568 000	500 000	1 068 000	30 515	1 367 000	39 000
40	780	510	185 000	138 000	323 000	8 075	650 000	575 000	1 225 000	30 620	1 548 000	38 700
45	1 000	650	211 000	163 000	374 000	8 200	731 000	660 000	1 391 000	32 890	1 765 000	39 000
50	1 100	710	250 000	175 000	425 000	8 100	813 000	735 000	1 548 000	34 000	1 973 000	39 500
60	1 250	810	284 000	194 000	478 000	7 970	972 000	965 000	1 937 000	32 280	2 415 000	40 000
70	1 400	910	320 000	214 000	534 000	7 630	1 134 000	1 000 000	2 134 000	30 480	2 668 000	38 000
80	1 600	1 040	359 000	243 000	602 000	7 325	1 280 000	1 150 000	2 730 000	30 380	3 032 000	37 900
90	1 800	1 170	400 000	270 000	670 000	7 445	1 440 000	1 300 000	2 740 000	30 445	3 410 000	38 000
100	2 000	1 300	450 000	300 000	750 000	7 500	1 600 000	1 800 000	3 400 000	34 000	4 150 000	41 500

F. — **Matériel roulant.** — Le prix des voitures est essentiellement variable avec le type considéré, avec le nombre de places, avec le plus ou moins grand luxe d'aménagement, etc.

Nous considérerons à part le prix du truck et celui de la caisse : les modèles les plus courants sont les suivants :

1° VOITURES SANS IMPÉRIALE

		TRUCK COMPLET	ÉQUIPEMENT électrique complet	CAISSE	PRIX TOTAL
		—	—	—	—
Voitures de 50 places	18 places d'intérieur, 32 places sur les 2 plates-formes	1.800 à 2.400	7.500 à 13.000 (2 moteurs)	2.600 fr.	21.000 à 18.000 fr.
Voitures de 40 places	18 places d'intérieur, 22 places sur les plates-formes	1.800 à 2.400	7.000 à 12.000 (2 moteurs)	2.500 »	11.300 à 17.000 »
Voitures de 32 places	14 places, 18 places sur la plate-forme	1.500 à 1.800	3.500 (1 moteur)	2.400 »	7.400 à 7.700 »

2° VOITURES AVEC IMPÉRIALE

Voitures de 54 places	24 places d'intérieur 24 places d'impériale 6 places sur la plate-forme	23.000 à 25.000 francs

L'équipement électrique complet comprend les moteurs, les controlleurs (un à chaque extrémité de la voiture), la perche de trolley, le trolley, les fils de connexions des divers organes, l'éclairage électrique et les avertisseurs-sonneries. Les moteurs sont comptés en moyenne pour 2.800 à 3.000 francs ; les controlleurs pour 500 francs.

Nous ne pouvons donner que des prix moyens, car le prix d'une voiture peut varier beaucoup selon le luxe intérieur de la caisse. Les prix indiqués plus haut sous-entendent des caisses en pitchpin et noyer, dont les sièges

sont en bois lamellé, ou avec des coussins en étoffe bon marché.

En Amérique, une voiture de 5 mètres de longueur coûte :

Caisse et truck sans les moteurs.............	5.000 fr.
Équipement électrique pour 15 chevaux-vapeur, comprenant moteur et accessoires...	5.500 —
Prix de la voiture complète.................	10.500 fr.

Les plus grands modèles ordinaires coûtent de 17.500 à 20.000 francs.

E. **Ligne.** — La ligne peut être : 1° aérienne ; 2° souterraine.

1° ***Ligne aérienne.*** — Le facteur le plus important dans le prix d'établissement de 1 kilomètre de ligne aérienne est le support de la ligne. Selon qu'on emploiera ce support en bois ou en fer, le prix pourra facilement varier du simple au double et même au triple. Ces supports peuvent être posés dans l'entre-voie ou sur les trottoirs bordant les lignes. Nous donnons quelques prix qui ont été payés pour des lignes existantes.

Établissement de 1 kilomètre de ligne aérienne tout équipée et comprenant :

Bornage, poteaux ordinaires en bois, appareils d'isolation et de suspension, câble unique, de......	6.000 à 7.500 fr.
Bornage, poteaux équarris et peints.............	7.000 à 9.000 —
— poteaux en fer, suspension, fondation en béton et câbles pour *voie simple*......	12.000 à 15.000 —
— poteaux en fer, suspension, fondation en béton pour *voie double*, posés en bordure............................	19.500 à 23.000 —
(Dans certains cas ce prix peut aller jusqu'à 30.000 francs.)	
Bornage, poteaux en fer, suspension, fondation en béton, posés dans l'entre-voie	14.000 à 17.000 —

Dans ce qui précède, le retour est fait par les rails à la façon ordinaire. Si l'on prend des précautions spéciales que

nous examinerons, il faudrait donner à ces prix une plus-value variable suivant les cas.

Prix unitaires. — *Fil de travail.* — Ordinairement, on emploie un fil de bronze phosphoreux (de $8^{mm},5$ de diamètre) à 98 pour cent de conductibilité, rapportée à celle du cuivre pur. Ce fil résiste à la tension de 45 kilogrammes par millimètre carré, et son prix est de 1 fr. 95 au maximum le kilogramme.

Le fil de travail, ou fil de trolley, coûte 500 francs par kilomètre de ligne ; si l'on y ajoute les fils de suspension, les isolateurs, les accessoires, il faut doubler ce prix, soit 1.000 francs. La pose, la main-d'œuvre nécessaire et l'imprévu peuvent être évalués également à 1.000 francs, soit un prix moyen de 2.000 francs par kilomètre de fil de travail *posé*.

Poteaux en fer. — Un poteau en fer ordinaire, à section *ronde*, de 7 mètres de hauteur au-dessus du sol, coûte de 70 à 300 francs, suivant sa résistance mécanique (250 à 600 kilogrammes).

Un poteau métallique, à section *carrée*, en forme de pyramide, et de 7 mètres de hauteur, peut coûter de 70 (effort horizontal : 250 kilogrammes) à 250 francs (effort horizontal : 650 kilogrammes).

Le prix moyen de pose et mise au levage de ces poteaux, quel que soit leur genre, est, en *terrain ordinaire*, de 30 à 40 francs (y compris le bétonnage).

Poteaux en bois. — Le prix d'un poteau fort en sapin de 7 mètres de hauteur hors terre peut être de 30 francs ; sa pose coûte environ de 5 à 10 francs sans bétonnage, et 15 à 20 francs avec bétonnage. Pour un poteau avec potence métallique il faut compter de 40 à 45 francs la pièce.

On compte une moyenne de 30 poteaux par kilomètre de ligne, en alignement droit ; s'il existe plusieurs courbes, il faut majorer ce chiffre. Cette base fait ressortir le prix du kilomètre de ligne avec poteaux en bois de 1.200 à 1.500 francs en moyenne, y compris la pose.

Alimentation du fil de travail ou feeder. — Ce prix dépend essentiellement du trafic ; on peut cependant donner,

comme prix moyen, celui de 3.000 à 3.500 francs par kilomètre de ligne. Pour les lignes à grand trafic, ce prix peut varier de 5.000 à 8.000 francs.

Circuit de retour. — En employant le système le plus économique, celui qui consiste à relier à chaque joint de rail les rails entre eux par des fils de cuivre, et à relier transversalement les rails, on peut compter sur une dépense moyenne de 2.000 francs par kilomètre de ligne.

Coût d'établissement de 1 kilomètre de ligne équipée avec le système électro-magnétique. — Pour donner un point de comparaison du coût au kilomètre, de l'établissement de ce système, avec celui du kilomètre en ligne aérienne, nous donnons les chiffres se rapportant à la dépense, par kilomètre, du système Vuilleumier-Claret. Ce prix peut être pris égal, en moyenne, à 21.000 francs le kilomètre, et se décompose comme suit :

Par section de 100 mètres, on a :

1.000 mètres de câbles reliant les plots au commutateur.	1.000 fr.
100 — de câble principal, à 15 francs le mètre....	1.500 —
1 commutateur et sa pose	300 —
50 pavés métalliques...............................	100 —
Pose des câbles et des pavés........................	100 —
Divers..	100 —
Prix total pour une section de 100 mètres...	2.100 fr.

Soit pour 1.000 mètres : 21.000 francs.

Comme on le voit, ce prix est comparable à celui que l'on obtiendrait avec le fil aérien dans une ville où l'on emploierait forcément des poteaux métalliques, présentant une forme élégante, et par conséquent coûteux.

Ce résultat est *très intéressant*, car il permet d'entrevoir, par ce système, la solution du problème complet de la traction électrique dans les grandes villes, si l'exploitation en est économique : ce que la pratique de quelques années peut seule indiquer.

Prix moyen d'établissement de la ligne. — — En résumé, le *prix moyen* d'établissement de 1 kilomètre de ligne peut se décomposer comme suit :

Construction de la voie proprement dite (non pavée)	30.000 fr.
Circuit de terre, pour le retour	2.000 —
Poteaux en bois	1.500 —
Fil de trolley, ou fil de travail	2.000 —
Fil d'alimentation	3.500 —
Imprévu	1.000 —
Total	40.000 fr.

Si l'on avait employé des poteaux en fer, il aurait fallu compter 5.000 francs en plus, soit 45.000 francs.

Si l'on considère une ligne de tramway, comprenant des voitures possédant deux moteurs (longueur : 5 mètres) de 15 chevaux, et qu'on suppose qu'il y a une voiture par kilomètre de ligne, on aura la dépense suivante :

1 kilomètre de voie et de ligne avec poteaux en bois	40.000 fr.
Une voiture prête à fonctionner	17.500 —
Matériel électrique et à vapeur par voiture	4.500 —
Immeuble et imprévu	2.500 —
Total	74.500 fr.

Soit une dépense totale de 75.000 francs par kilomètre de ligne fonctionnant.

En Amérique, la dépense *moyenne* totale par kilomètre de voie établie est de 150.000 francs qui se répartissent comme suit :

Établissement de la voie proprement dite (pavée)	75.000 fr.
Matériel fixe et roulant	32.750 —
Bâtiments et terrains	40.250 —
Total	150.000 fr.

Ces chiffres ne sont que des moyennes, car il existe des lignes où le prix du kilomètre a varié de 60.000 à 450.000 francs.

Devis d'établissement pour une ligne donnée. — Pour donner une idée de quelle façon les dépenses de pre-

mier établissement d'une ligne de tramway peuvent se répartir, nous donnons les dépenses faites effectivement pour une ligne de 4.880 mètres à voie double, qui a été installée en Amérique. Ces renseignements sont donnés par M. Fairchild.

Les dépenses de premier établissement se classent dans les différents chapitres suivants :

A. — VOIE

		Par kilomètre.
9.830 mètres de fondations avec pierres cassées	73.846 fr.	
Traverses et accessoires des traverses	39.385	
9.660 mètres de ligne électrique, y compris le fil de relais pour chaque voie	15.554	
9.660 mètres de double voie de rails en acier de 35 kilogrammes par mètre courant, avec tous les accessoires nécessaires	232.922	
Surveillance et frais divers	49.241	
Pavage en pavés de granit sur une surface de 28.150 mètres carrés	437.575	
Total du prix de la voie	848.523 fr.	175.680 fr.

Constructions spéciales de la voie

		Par kilomètre.
Deux aiguilles de croisement	5.440 fr.	
Une double voie de croisement	1.398	
180 mètres de courbes de double voie	2.545	
Total	9.383 fr.	1.950 fr.

B. — LIGNE ÉLECTRIQUE AÉRIENNE

		Par kilomètre.
270 poteaux en fer très résistants, avec les tirants nécessaires	36.363 fr.	
8 poteaux d'extrémité et de courbes	2.072	
278 poteaux d'arrêt avec fondation en béton dans les courbes	11.520	
9.660 mètres de fil de trolley pesant 4.642 kilogrammes, à 1 fr. 50 le kilogramme.	7.945	
Fil de suspension pour des rues de 16 mètres de largeur, pesant 910 kilogrammes.	627	
625 mètres de fil d'alimentation pesant 7.082 kilogrammes à 1 fr. 60 le kilogramme.	13.742	
Fil d'amarrage : 123 kilogrammes	100	
4.830 mètres de ligne pour isolateurs, parachutes, etc	4.660	
Fournitures diverses	7.771	
Total de la ligne électrique.	84.800 fr.	17.765 fr.

Constructions spéciales de la ligne

		Par kilomètre.
6 croisements de trolley	93 fr.	
290 mètres de courbes à double voie	780	
Fil de protection sur la moitié de la ligne	1.335	
Total	2.208 fr.	416 fr.

C. — STATION CENTRALE

		Par kilomètre.
Terrain	51.800 fr.	
Bâtiments : 1.560 mètres carrés	133.500	
Machines à vapeur compounds à vitesse lente, à condensation : 35 chevaux par voiture, soit 1.025 chevaux-vapeur avec 20 pour cent de réserve, à 336 fr. le cheval	343.535	
(Les machines à grande vitesse à accouplement direct auraient coûté 283 francs le cheval, soit 288.785 francs).		
Équipement électrique : 30 chevaux par voiture, y compris 20 pour cent de réserve, en tout 900 chevaux à 182 francs le cheval	163.170	
Total de la station centrale	692.005 fr.	143.270 fr.

D. — MATÉRIEL ROULANT

		Par kilomètre.
15 voitures motrices de 5 mètres de longueur	77.700 fr.	
15 trucks moteurs	21.368	
30 moteurs (2 par voiture) avec accessoires électriques	194.250	
15 voitures ordinaires	93.200	
Total du matériel roulant	386.518 fr.	80.031 fr.

E. — REMISE ET ATELIERS DE RÉPARATIONS

		Par kilomètre.
Terrains	12.950 fr.	
Bâtiments à l'abri du feu	129.500	
Puits, voies de croisement	20.720	
Atelier de réparations	23.310	
Forge	20.720	
Total de la remise et ateliers de réparations	207.200 fr.	42.898 fr.

F. — FOURNITURES ACCESSOIRES

		Par kilomètre.
2 voitures chasse-neige..................	25.900 fr.	
Autres appareils pour la neige...........	5.180	
4 voitures-outils........................	11.665	
2 tombereaux et divers...................	2.072	
Total des fournitures diverses.......	44.917 fr.	9.300 fr.

La récapitulation des divers chapitres donne :

		Par kilomètre.
A. — Voie............................	848.523 fr.	175.680 fr.
Constructions spéciales de la voie..	9.383	1.950
B. — Ligne électrique aérienne	84.800	17.765
Constructions spéciales de la ligne.	2.208	416
C. — Station centrale..................	692.005	143.270
D. — Matériel roulant..................	386.518	80.031
E. — Remise et atelier de réparations ...	207.200	42.898
F. — Fournitures accessoires	44.917	9.300
Total de la dépense.........	2.276.554 fr.	471.310 fr.

Prix de revient de la voiture-kilomètre sur la ligne considérée [1]. — La ligne considérée était parcourue par deux voitures attelées, qui étaient lancées toutes les quatre minutes; on avait par jour un nombre de voitures-kilomètres égal à 5.300. Le détail des dépenses faites, pour parcourir ce chemin, se décomposait comme suit :

Force motrice...	12 tonnes de charbon...................	150 fr.
	Eau, huile, graisse......................	50
	Dépréciation du matériel roulant.........	190
Personnel	Conducteurs............................	660
	Ingénieurs et mécaniciens...............	125
	Hommes de service.....................	100
Entretien.......	Entretien des machines, bâtiments et voies.	70
	Réparation des machines et de la ligne...	65
	Réparation aux moteurs et aux voitures..	390
	Réparation aux fils aériens...............	235
	Nettoyage de la voie	70
Divers..........	Taxe et accessoires......................	75
	Dépenses diverses.......................	165
	Total en francs...........	2.340 fr.

(1) Nous donnons ici le prix de revient de la voiture-kilomètre pour donner une idée d'ensemble des dépenses; car le détail de ce prix serait mieux à sa place au chapitre *Exploitation*.

Le prix total de la voiture-kilomètre revient donc à :

$$\frac{2.340}{5.300} = 0 \text{ fr.} 47.$$

M. Fairchild, qui a donné le détail de ces chiffres, attribue 9,6 centimes à l'intérêt du capital de premier établissement, et le prix de revient de la voiture-kilomètre ressort à 37,4 centimes.

Il a détaillé complètement ce dernier prix, et il est intéressant de le reproduire :

			centimes
Dépenses générales	Traitements des directeurs et des employés	2,96	5,62
	Dépenses de bureau	1,10	
	— divers	1,56	
Dépenses de traction.	Salaire des conducteurs	13,22	18,94
	Dépenses faites aux ateliers des voitures	1,86	
	Dépenses de traction	3,86	
Entretien de la voie et des bâtiments.	Réparation de la voie	3,85	5.85
	— des fils aériens	1,88	
	— des bâtiments	0,12	
Entretien du matériel et de l'équipement électrique..	Réparation des voitures (trucks et caisses)	2,91	6,953
	Réparation de l'équipement électrique des voitures	3,29	
	Réparation des machines à vapeur..	0,77	
	— des dynamos	0,06	
	Dépenses diverses	0,003	
	Total		37,363

Nous terminerons ce chapitre en donnant le tableau statistique résumant la dépense et la répartition des frais de premier établissement des lignes à traction en Amérique [1]. Nous y avons ajouté les dépenses d'exploitation et le revenu des lignes, ce qui permet, par l'examen de ces chiffres, de tirer quelques conclusions intéressantes.

(1) *Les Tramways en Amérique*, par TAVERNIER. 1896.

DÉPENSES ET RÉPARTITION DES FRAIS DE PREMIER ÉTABLISSEMENT

EN AMÉRIQUE PAR KILOMÈTRE

DÉPENSES D'EXPLOITATION ET REVENUS DE CES MÊMES LIGNES

ANNÉES	NOMBRE DE LIGNES	LONGUEUR CONSTANTE DE VOIE OU DE LIGNE EN KILOMÈTRES	DÉPENSES DE PREMIER ÉTABLISSEMENT			DÉPENSES				NOMBRE DE VOITURES PAR KILOMÈTRE EXPLOITÉ	DÉPENSES MOYENNE PAR KILOMÈTRE DE VOIE OU DE LIGNE	COEFFICIENTS D'EXPLOITATION			DÉPENSES PAR		REVENU DU CAPITAL ENGAGÉ EN POUR CENT
			MINIMUM EN FRANCS	MAXIMUM EN FRANCS	MOYENNE EN FRANCS	DE LA VOIE EN FRANCS	EN POUR CENT DU TOTAL	DU MATÉRIEL EN FRANCS	EN POUR CENT DU TOTAL			MINIMUM	MAXIMUM	MOYEN	VOYAGEURS TRANSPORTÉS	VOITURES-KILOMÈTRES	
						A. — ÉTAT DE MASSACHUSETTS (PAR KILOMÈTRE DE VOIE)											
1892	19	223,44	44.600	130.100	95.900	68.300	72	27.600	28	1,4	12.500	0,25	0,88	0,70	0,123	0,61	5,6
1893	29	481,73	44.200	277.500	113.500	98 100	87	15.400	13	3,00	14.700	0,57	1,51	0,74	0,121	0,60	4,7
						B. — NEW-YORK (PAR KILOMÈTRE DE VOIE)											
1892	19	190,74	42.100	1,473.200	164.500	137.200	83	27.300	17	1,2	11.600	0,45	1,36	0,70	0,244	»	3
1893	28	370,44	42.100	526.300	182.100	165.100	91	17.000	9	0,8	9.200	0,33	2,43	0,69	0,181	»	4,3
						C. — NEW-YORK (PAR KILOMÈTRE DE LIGNE)											
1892	19	144,37	42.100	2,629.100	217.300	181.200	83	36.100	17	1,6	15.400	0,45	1,36	0,70	0,324	»	3
1893	28	268,47	42.100	1,124.150	251.000	227.800	91	23.400	9	1,2	13.800	0,33	2,43	0,69	0,272	»	4,3
						D. — PENSYLVANIE (PAR KILOMÈTRE DE LIGNE)											
1892	34	457,00	45.200	494.400	160.600	111.500	69,4	49.100	30,6	1,4	23.600	0,11	1,68	0,63	0,186	0,32	8,4
1893	54	836,83	36.300	552.200	173.900	134.500	71,8	39.500	28,2	1,2	16.300	0,22	3,00	0,55	0,171	0,32	7,2

CHAPITRE VI

VOITURES AUTOMOTRICES : TRAMWAYS A ACCUMULATEURS

Traction électrique par voitures automotrices : tramways à accumulateurs. — Description succincte du système : batterie, commutateur-coupleur ; durée des plaques. — Avantages de ce système. — Prix de premier établissement : prix par voitures en service. — Prix de revient de la voiture-kilomètre en France, en Belgique, en Amérique. — Récupération de l'énergie dans les pentes, avec les voitures à accumulateurs : étude théorique. — Dépense d'énergie avec une voiture sans récupération et une autre avec récupération. — Rendement pratique des voitures à accumulateurs avec récupération. — Système mixte : fil aérien combiné avec les accumulateurs ; marche mixte avec dépôt de la batterie d'accumulateurs. — Avantages du système mixte.

Traction électrique par voitures automotrices. — D'après la définition que nous avons donnée au début, la voiture automotrice est celle qui transporte, avec elle, l'énergie qui alimente ses moteurs. Ces voitures ont l'avantage très grand de pouvoir rouler sur une voie ferrée quelconque.

Dans cette catégorie se rangent les tramways à accumulateurs et les voitures routières ; on peut également y classer certain genre de véhicule (locomotive et voiture automotrice système J.-J. Heilmann).

Nous nous occuperons actuellement des tramways à accumulateurs qui seuls, jusqu'à présent, sont dans la pratique courante.

Tramways à accumulateurs. — Les premiers essais ont été tentés par M. Philippart, en 1890 ; à cette époque, l'accumulateur n'était pas aussi perfectionné qu'aujourd'hui et le prix de revient obtenu par la voiture-kilomètre fit aban-

donner ce système pendant quelques années. Après divers essais, ce n'est seulement que vers 1893 que quelques lignes furent exploitées régulièrement avec ce système. Ce furent



Fig. 200. — Station de charge à Saint-Ouen.

les lignes de La Madeleine à Saint-Denis et de l'Opéra à Saint-Denis.

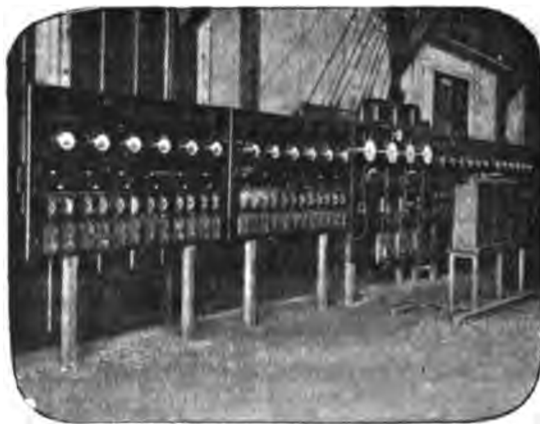


Fig. 201. — Tableau de charge des batteries d'accumulateurs.

Le principe employé consiste à charger, dans une station centrale (*fig.* 200-201), la batterie d'accumulateurs, qui est

ensuite placée sur la voiture, où elle alimente les moteurs commandant les essieux par engrenage (*fig.* 202).

L'exploitation des lignes mentionnées est faite par des batteries composées de 108 éléments à 11 plaques de 200 × 200 millimètres. Ces éléments sont répartis en douze caisses, dont six placées de chaque côté de la voiture. Le poids total de la batterie est de 3.000 kilogrammes, et sa capacité peut fournir le courant nécessaire pour parcourir 50 kilomètres sur rails Broca et sur un profil moyen.

L'un des inconvénients de ce système, tel qu'il est pratiqué



Fig. 202. — Bancs de charge à la station.
(Lignes de Saint-Denis-Opéra et de Saint-Denis-Madeleine.)

dans l'exploitation de ces lignes, est le rechargement de la batterie, qui, une fois épuisée, doit rentrer au dépôt, à la station de charge, pour être échangée contre une batterie qui a été chargée pendant le temps de travail de la première : de sorte que, pour chaque voiture, il faut une batterie de réserve, soit deux batteries pour le service journalier de chaque voiture (*fig.* 202).

Aussi est-ce de ce côté que se portent les améliorations qui sont tentées. C'est ainsi que la Société exploitante (Société du Travail électrique des Métaux), pour le compte de la Compagnie des tramways Nord, a l'intention de remplacer

ce qui existe actuellement par une nouvelle disposition qui sera plus commode que la précédente : la batterie d'accu-



Fig. 203. — Truck à boggie des voitures à accumulateurs (premier type). Ligne Saint-Denis-Opéra.

mulateurs est placée dans une caisse, suspendue au châssis



Fig. 204. — Voiture à accumulateurs (premier type) remorquant une voiture ordinaire.

de la voiture entre les deux essieux moteurs (*fig.* 206). En combinant cette disposition avec la méthode de récupération,

dont nous parlerons, il serait possible de diminuer le poids de la batterie, qui serait alors seulement de 2.000 kilogrammes, soit un tiers en moins.

Mais, si ce nouveau système proposé facilite les manœuvres, il ne les supprime pas. Une autre Société, la Société industrielle des Moteurs électriques et à vapeur, qui exploite les quatre lignes partant de La Madeleine et allant à Neuilly et à Levallois-Perret, a adopté le système des accumulateurs dits à *charge rapide*, qui permettent de recharger en un quart d'heure, au maximum, la batterie, et cela en lui restituant ce qu'elle a pu dépenser pendant le voyage complet (aller et retour).

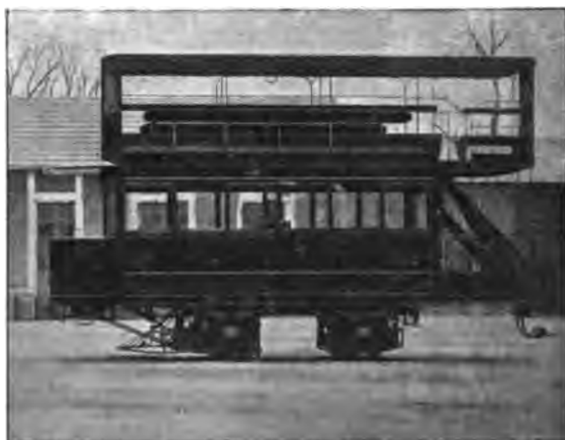


Fig. 205. — Voiture à accumulateurs (nouveau modèle): la caisse d'accumulateurs est enlevée.

Pour cela, des câbles feeders partent de la station centrale et aboutissent aux terminus les plus rapprochés des lignes où cette recharge a lieu, sans déplacer la batterie qui reste *toujours dans la voiture* et qui n'en est retirée que pour faire l'entretien des plaques positives qui peuvent s'user ou se détériorer. Les accumulateurs employés sont du genre Tudor-Müller. On n'a jusqu'à présent aucun renseignement précis sur ce type d'accumulateur dit à charge rapide.

Commutateur-coupleur. — Les diverses manœuvres de ces voitures se font au moyen d'un commutateur-coupleur. Sur les lignes Opéra-Saint-Denis et Madeleine-Saint-Denis, il y a deux ou quatre sous-batteries, de trois caisses chacune, soit 27 éléments en tension, ce qui donne une différence de potentiel de 50 volts environ à circuit fermé. Le commutateur-coupleur permet de faire les trois manœuvres suivantes :

1° Les quatre sous-batteries sont groupées en quantité, d'où une force électromotrice de 50 volts ; ce couplage est employé pour le démarrage ;

2° Deux groupes de deux sous-batteries sont groupés



Fig. 206. — Voiture à accumulateurs (nouveau modèle) avec la caisse d'accumulateurs placée entre les deux essieux.

moitié en tension, moitié en quantité, d'où une force électromotrice de 100 volts ; ce couplage est employé pour la marche à vitesse normale ;

3° Les quatre sous-batteries sont groupées en tension, d'où une force électromotrice de 200 volts ; ce couplage sert pour doubler la vitesse.

Ces manœuvres sont faites au moyen d'un appareil simple qui permet aussi de changer le sens de la marche en renver-

sant le sens du courant dans les inducteurs des moteurs et aussi de supprimer l'un quelconque des deux moteurs, s'il y survient une avarie. Dans ce cas, la puissance du moteur restant est suffisante pour remorquer la voiture à vitesse réduite.

Durée des plaques. — Sur les lignes actuellement en service, l'on commence à remplacer les plaques positives après un parcours moyen de 35.000 à 40.000 voitures-kilomètres ; la durée moyenne des plaques négatives est beaucoup plus grande : elles peuvent parcourir 250.000 voitures-kilomètres sans être remplacées.

Du reste, ces chiffres sont très variables, et leur limite tend à être reculée, car elle dépend des progrès qui sont accomplis dans la fabrication des accumulateurs, du genre d'accumulateurs employés, du profil parcouru, etc. Nous ferons, en passant, la remarque que l'exploitation par accumulateurs est faite actuellement sur des lignes d'un profil très accidenté, ce qui n'est pas une condition avantageuse pour la durée des plaques. Sur des profils moyens, cette durée pourrait être augmentée.

Avantages de ce système. — Les avantages du système de traction par voitures automotrices à accumulateurs peuvent se résumer de la façon suivante :

1° Indépendance des diverses voitures automotrices ;

2° Sécurité complète dans l'exploitation.

En supposant qu'il survienne un accident ou un arrêt à la station centrale, cela n'influence pas la marche des voitures sur la ligne ;

3° Élasticité dans le service. Si le trafic augmente momentanément, on peut facilement mettre en service les voitures de réserve, et cela à la demande des besoins.

Les avantages énoncés ci-dessus sont plutôt d'un ordre purement commercial ; au point de vue technique les avantages de ce système sont les suivants :

A la station centrale, la marche se fait constamment à

pleine charge, il en résulte que le matériel moteur et électrique n'a pas à supporter les efforts supplémentaires momentanés, comme cela arrive dans le cas de la traction par fil de travail aérien ou souterrain; la constance de la marche se traduit par un *minimum* de dépense pour l'entretien du matériel de la station.

De plus, il résulte également de cette marche constante à pleine charge que le matériel est mieux utilisé, car il peut travailler jour et nuit. De ce côté, l'on peut donc réaliser des économies dans le prix de premier établissement du matériel qui est aussi réduit que possible. Ce point a sa grande importance pour les charges d'intérêt et d'amortissement du capital à engager dans l'exploitation, qui sont ainsi diminuées. Ce fait compense en partie le défaut que l'on a à reprocher à ce système qui porte un poids mort d'accumulateurs, d'où une dépense d'énergie supplémentaire pour remorquer la voiture.

Dépenses de premier établissement. — Les dépenses de premier établissement d'une ligne à traction électrique par voiture à accumulateurs sont d'un ordre très intéressant; car, par comparaison, elles permettent d'examiner si l'on a intérêt à employer ce système à la place d'un autre, étant données les conditions de durée de la concession, d'autorisation de placer la ligne aérienne, etc.

Nous prendrons comme exemple le prix qu'a coûté l'établissement des lignes mentionnées (Opéra-Saint-Denis et Madeleine-Saint-Denis).

L'équipement a été fait pour 25 voitures, dont 17 seulement sont en service normal.

CHAPITRE I. — USINE

3 chaudières semi-tubulaires..........	48.000 fr.	
3 machines à vapeur horizontales de 125 chevaux (Lecouteux-Garnier)...	88.000	
3 dynamos Desroziers de 60 kilowatts..	43.500	
Transmission des machines à vapeur aux dynamos.....................	37.000	
Travaux divers pour les chaudières, briqueterie........................	58.500	
Cheminée, travaux divers.............	96.500	
Total...........		371.500 fr.

CHAPITRE II. — ÉQUIPEMENT DES VOITURES
MATÉRIEL ROULANT

A. — 44 batteries de 108 accumulateurs...	203.000 fr.	
Installation pour la charge des batteries : tableaux, bornes.........	34.260	
		237.260 fr.
B. — 25 voitures à impériale complètement équipées, avec moteurs, commutateurs et accessoires...............	425.000	425.000
Total du prix de l'installation..		1.033.760 fr.

Si l'on établit le prix par *voiture en service*, on a $\frac{1.033.760}{17} = 60.809$ francs.

Si l'on cherche la *dépense totale* par kilomètre, on a une longueur de 22 kilomètres, ce qui donne comme dépense : $\frac{1.033.760}{22} = 47.000$ francs environ. Ce chiffre peut servir, comme première approximation, pour la comparaison de ce système avec celui à fil de travail aérien dans un cas bien déterminé, où la durée de la concession jouera le principal rôle.

Prix de revient de la voiture-kilomètre [1]. — Ces prix de revient sont assez difficiles à connaître, car il n'existe,

[1] Nous donnons ici ce prix de revient, qui serait mieux à sa place au chapitre *Exploitation*, pour qu'on puisse mieux comparer les dépenses de premier établissement et le prix de revient de la voiture-kilomètre.

dans la pratique, que quelques lignes de tramways qui emploient ce système de traction.

Cependant, nous citerons les chiffres suivants que nous avons pu recueillir.

Au début de l'exploitation des deux lignes mentionnées plus haut, le prix de la voiture-kilomètre ressortait à 47 centimes qui pouvaient se décomposer comme suit :

Salaire du conducteur mécanicien	7	centimes
Force motrice	18	—
Entretien des accumulateurs et manipulation	16	—
Entretien des moteurs, trucks, caisses et divers.	6	—
Total	47	centimes

Depuis, on a perfectionné les accumulateurs employés et on est arrivé à répartir les dépenses de la façon suivante, dans les nouvelles lignes exploitées, en s'attachant à diminuer les chiffres se rapportant à l'entretien des accumulateurs et du matériel roulant :

Salaire du conducteur mécanicien	7	centimes
Force motrice	10	—
Entretien des accumulateurs	12	—
Entretien des moteurs, trucks, caisses	4	—
Divers	2	—
	35	centimes

Ces chiffres moyens sont établis en prenant un trafic égal à 1.000.000 de voitures-kilomètres.

Dans les premiers résultats, ceux où la voiture-kilomètre ressortait à 47 centimes, la dépense moyenne en énergie électrique, par voiture-kilomètre, était la suivante :

Chevaux électriques produits à l'usine par voiture-kilomètre	1,38
Ampères-heure chargés — —	3,90
Charbon consommé à l'usine par voiture-kilomètre, en kilogr.	2,30
Huile consommée — — —	0,003

La consommation de charbon par *cheval-heure électrique* est ressortie, en moyenne, à 1^{kg},66.

On voit combien ces chiffres sont encourageants pour obtenir un très bon prix de revient de la voiture-kilomètre.

Pour des lignes à grand trafic et en employant le nouveau système d'accumulateurs *à charge rapide*, l'on peut espérer atteindre, comme prix de revient, celui de 27 centimes, qui se répartirait ainsi :

Salaire du conducteur mécanicien............	7 centimes
Force motrice..............................	10 —
Entretien des accumulateurs.................	6 —
Entretien des moteurs, trucks, caisse et divers..	4 —
Total...........	27 centimes

Ce prix pourrait être encore un peu diminué si l'on avait un trafic assuré de plusieurs dizaines de millions de voitures-kilomètres ; il est très intéressant, car il permet d'exploiter, dans de bonnes conditions, des lignes à grand trafic et à concession de *courte durée*. C'est le cas des lignes existant à Paris.

Tramway de Bruxelles. — Nous donnons les dépenses d'exploitation pour 12 voitures en service, effectuant un parcours utile de 1.200 voitures-kilomètres par jour.

Chaque voiture contient trente places ; la ligne ne présente pas de rampe.

1° La dépense totale d'installation a été de 315.600 francs. Elle comprend l'usine de charge, bâtiments, chaudières et machines à vapeur, dynamos, etc. ; accumulateurs, voitures électriques complètement équipées.

2° La dépense par voiture-kilomètre se répartit de la manière suivante :

Force motrice.	Consommation de charbon..................	0 fr. 025
	Graissage................................	0 007
Entretien général.	Entretien et remplacement des organes électriques et mécaniques....................	0 025
	Entretien des accumulateurs................	0 070
	Salaire des ouvriers faisant l'entretien........	0 033
Frais généraux..	Direction et frais généraux...........	0 050
Amortissement et intérêts du capital engagé (en quinze ans).		0 069
		0 fr. 294

Soit 0 fr. 30 le kilomètre-voiture, sans compter le wattman et le receveur.

Si l'on estime le salaire de ces deux employés au prix global journalier de 11 francs, cela fait 0 fr. 11 à ajouter au prix de 0 fr. 30, ce qui donne comme prix total de la voiture-kilomètre 0 fr. 41. C'est un prix un peu inférieur à celui que l'on obtient à Paris, pour le même système, comme nous l'avons vu précédemment.

Les tramways à accumulateurs en Amérique (1).— En Amérique, la traction par accumulateurs n'a pas encore pris un développement comparable à celui qui s'est produit en Europe et spécialement en France. — New-York ne possède actuellement qu'une petite ligne, celle de Madison-Avenue. Les premiers essais furent tentés en 1889, puis abandonnés ; ces essais viennent d'être repris avec deux voitures équipées de la façon suivante : la batterie est composée de 60 éléments (9 plaques) divisés en deux séries de 30 éléments.

Chaque élément pèse 43 kilogrammes; il peut débiter 40 ampères pendant dix heures, soit à peu près 1 ampère au kilogramme. Le poids total de la batterie est donc de 2.580, avec les accessoires, soit 2.600 kilogrammes. Les plaques ont les dimensions suivantes :

$$45,75 \times 13,20 \times 21,60 \text{ centimètres.}$$

Les 60 éléments sont contenus dans une caisse en bois, portant 4 oreilles qui servent à la fixation sous le truck, entre les deux essieux.

Cette disposition permet de rendre le truck indépendant de la caisse de la voiture, ce qui a l'avantage de donner plus de légèreté à celle-ci.

La manœuvre nécessaire pour accrocher la caisse des accumulateurs sous le truck se fait de la façon suivante : la voiture est amenée sur une voie de garage, au-dessus d'une

(1) *The Electrical Engineer.* — Novembre 1895.

fosse, où se trouve placé un monte-charge sur la plate-forme duquel est disposé un petit chariot qui reçoit la batterie à recharger; on descend le tout; le chariot supportant la caisse des accumulateurs est retiré et remplacé par un chariot semblable portant la nouvelle caisse d'accumulateurs en charge. Le monte-charge remonte et vient accrocher la nouvelle caisse au truck, les connexions électriques se font automatiquement au moyen de contacts glissants, disposés à cet effet.

Le truck comporte deux moteurs capables de donner une vitesse maxima de 39 kilomètres à l'heure : en service journalier, la vitesse de 20 kilomètres n'est pas dépassée. Pour laisser plus de place à la caisse des accumulateurs, ces moteurs sont placés à l'extrémité de l'essieu, et non au milieu, comme d'habitude : le truck est du système Peckham, c'est-à-dire qu'il est constitué par deux longerons de même longueur que celle de la voiture et qui portent les boîtes à graisse. Des ressorts à boudin et à lames elliptiques sont fixés sur les longerons ; les ressorts sont réunis par une traverse horizontale où vient se fixer, par des boulons, la caisse de la voiture.

L'empâtement des roues est de $2^m,30$, et leur diamètre de $0^m,76$.

Le controlleur, ou coupleur, est disposé pour obtenir les six combinaisons suivantes :

1° Mettre les deux batteries en dérivation, et les deux moteurs en série ;

2° Mettre les deux batteries en dérivation, et les deux moteurs en série, mais en diminuant l'excitation, en shuntant les inducteurs ;

3° Mettre les deux batteries, et les deux moteurs en série ;

4° Mettre les deux batteries, et les deux moteurs en série, mais en diminuant l'excitation, en shuntant les inducteurs ;

5° Mettre les deux batteries en série, et les deux moteurs en dérivation.

6° Mettre les deux batteries en série, et les deux moteurs en dérivation, en shuntant les inducteurs.

Une autre petite ligne, celle du Mont-Vernon à New-

York, d'une longueur de 3.000 mètres, est exploitée par des tramways à accumulateurs. La rampe maxima est de 65 millimètres par mètre. Les accumulateurs employés sont du type Elieson.

Prix de revient de la voiture kilomètre. — Dans les essais de Madison-Avenue, à New-York, le prix de revient de la voiture-kilomètre serait de 29 centimes, qui se répartirait de la façon suivante :

Personnel	15,5 cent.
Combustible	7 —
Huile, chiffons, eau	0,5 —
Entretien des moteurs	1 —
Entretien des accumulateurs	5 —
	29,0 cent.

Récupération de l'énergie dans les pentes, avec les voitures à accumulateurs. — Le principe de la récupération d'énergie dans les pentes peut être facilement appliqué aux tramways à accumulateurs. Cette récupération, qui jusqu'à présent a été peu employée, peut atteindre une valeur intéressante, quand la ligne présente un profil à longues pentes.

Pour le démontrer, prenons une ligne à profil simple

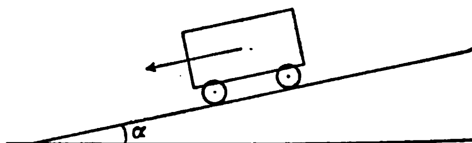


Fig. 207.

(*fig.* 207), et cherchons l'économie *théorique* faite avec la récupération sur la marche sans récupération.

Soient : P, le poids de la voiture à remorquer;

p, le poids de la batterie d'accumulateurs ;

f, l'effort moyen de traction exprimé en kilogrammes par tonne ;

l, la longueur de la ligne;

v, la vitesse moyenne.

1° ***Marche sans récupération.*** — Le nombre de kilogrammètres dépensés pour un voyage complet, aller et retour, sur une rampe de α millimètres par mètre :

A l'aller :

$$\frac{(P+p)\,(\alpha+f)\,l}{0{,}70}.v\,;$$

Au retour :

$$\frac{(P+p)\,(\alpha-f)\,l}{0{,}70}.v,$$

le rendement des accumulateurs étant supposé de 70 pour cent.

La somme de ces deux quantités représente le total de la puissance dépensée, soit :

$$Q=\frac{(P+p)\,l}{0{,}70}\,2.\alpha.v.$$

2° ***Marche avec récupération.*** — A l'aller, le nombre de kilogrammètres sera le même, soit :

$$\frac{(P+p)\,(\alpha+f)\,l}{0{,}70}.v\,;$$

au retour, la récupération donnera :

$$(P+p)\,(\alpha-f)\,l.v.\times 0{,}70.$$

La dépense totale *théorique* sera dans ce cas la différence de ces deux quantités, soit :

$$Q_r=\frac{(P+p)\,(\alpha+f)\,l.v.}{0{,}70}-0{,}70\,(P+p)\,(\alpha-f)l.v,$$

d'où, en simplifiant :

$$Q_r = lv\,\frac{P+p}{0{,}70}\,[(\alpha+f) - 1{,}4\,(\alpha - f)] = 2lv\,\frac{P+p}{0{,}70}\,[1{,}4f - 0{,}2\alpha].$$

Théoriquement, la récupération ainsi opérée donnerait 50 pour cent de l'énergie dépensée, car on suppose qu'on descend la pente sans arrêt, ce qui, en pratique, ne serait pas réalisable complètement. Il était seulement important de démontrer que la récupération peut donner un résultat intéressant dans certains cas.

Pratiquement, cette question a été étudiée par M. Sarcia, qui a donné quelques résultats déduits de l'expérience (1).

M. Sarcia a appelé *coefficient de récupération* le rapport

$$k = 0{,}70.\,\frac{\alpha - f}{\alpha + f},$$

et, en prenant pour f la valeur de 10 kilogrammes (ce chiffre variant de 7 à 15, suivant que l'on circule sur des rails Vignole ou Broca), il a déduit les valeurs du *coefficient de récupération k* tirées de la formule ci-dessus, et cela, en fonction de la pente exprimée en millimètres, et pour différentes valeurs de f. Ces valeurs sont données dans le tableau ci-dessous :

Pente α en millimètres	VALEUR DE k EN FONCTION DE f POUR	
	f = 5 kilogs	f = 10 kilogs
5	0	»
10	0,233	0
20	0,42	0,23
30	0,50	0,35
40	0,54	0,42
50	0,57	0,46
60	0,59	0,50
70	0,60	0,52
80	0,61	0,54
90	0,62	0,56
100	0,63	0,57

(1) *Industrie électrique*, 1896.

Sur une pente de 50 millimètres par mètre, on récupère donc, avec un effort de traction de 10 kilogrammes, 46 pour cent; et, sur une pente de 100 millimètres, avec le même effort de traction, 57 pour cent.

Dans son étude, M. Sarcia a donné la valeur du coefficient de récupération en fonction de *f* pour différentes rampes.

COEFFICIENT DE TRACTION exprimé en kilogr. par tonne	COEFFICIENT DE RÉCUPÉRATION *k* POUR DES RAMPES DE	
	20 millimètres	40 millimètres
0	0,70	0,70
2	0,57	0,63
4	0,47	0,57
6	0,38	0,51
8	0,30	0,49
10	0,23	0,42
12	0,18	0,35
14	0,12	0,34
16	0,08	0,30
18	0,04	0,27
20	0,00	0,23
22	0,00	0,20
24	—	0,18
26	—	0,15
28	—	0,12
30	—	0,10
32	—	0,08
34	—	0,06
36	—	0,04
38	—	0,02
40	—	0,00

Dépense d'énergie avec une voiture sans récupération et avec récupération. — M. Sarcia a établi la comparaison de la dépense d'énergie d'une voiture sans récupération, et celle de la même voiture avec récupération. En prenant la première comme unité, il est arrivé aux coefficients suivants, en fonction de la rampe considérée :

1	pour une rampe de	1	pour cent
0,86	—	2	—
0,84	—	3	—
0,81	—	4	—
0,73	—	10	—
0,68	—	90	—

On peut se demander quelle est la dépense d'énergie, pour parcourir un même profil, avec une voiture *automobile* à fil de travail aérien, et une voiture *automotrice* à accumulateurs à récupération.

M. Sarcia l'a indiqué dans son étude.

En prenant les mêmes constantes que précédemment, on a :

1° La valeur automobile à fil aérien dépense à la station centrale :

$$\frac{P(\alpha + f)l}{0,70}.v, \tag{1}$$

0,70 tenant compte du rendement de l'ensemble ;

2° La voiture automotrice à accumulateurs dépense à la station centrale :

$$\frac{(P+p)(\alpha + f)l}{0,7}.v.$$

On récupère dans les pentes :

$$0,70\,(P+p)(\alpha - f)\,l.v,$$

qui sont utilisés ; la dépense totale est donc :

$$\frac{(P+p)(\alpha+f)l.v}{0,70} - 0,70\,(P+p)(\alpha - f)\,l.v. \tag{2}$$

En comparant les équations (1) et (2) on voit quelle est la dépense dans chacun des cas. On peut se demander quel serait le poids p de la batterie pour que la dépense soit *la*

même dans les deux cas. En égalant les équations (1) et (2), on a l'égalité :

$$\frac{(P+p)(\alpha+f)l.v}{0{,}70} - 0{,}70(P+p)(\alpha-f)lv = \frac{P(\alpha+f)l.v}{0{,}70};$$

ou, en simplifiant :

$$p = P.\frac{\alpha+f}{\alpha+3f}. \qquad (3)$$

on a l'équation (3) qui donne le résultat cherché.

En prenant la valeur P = 10 tonnes, et α = 20 millimètres, on peut déduire les valeurs de p en fonction des valeurs variables de f. Ces résultats sont compris dans le tableau suivant :

VALEURS DE f exprimées en kilogr. par tonne	VALEURS DE p EN TONNE POUR	
	α = 20 millim.	α = 40 millim.
0	10	10
2	6,9	»
4	5,0	6,9
6	3,7	»
8	2,7	5
10	2	»
12	1,4	3,7
14	1,0	»
16	0,6	2,7
18	0,3	»
20	0	2
22	—	»
24	—	1,4
26	—	»
28	—	1
30	—	»
32	—	0,6
34	—	»
36	—	0,3
38	—	»
40	—	0

On voit qu'avec un effort de traction f = 12 kilogrammes,

et une rampe de 20 millimètres, le poids de la batterie avec récupération serait seulement de 1.400 kilogrammes pour ne pas dépenser plus d'énergie qu'avec le fil de travail aérien. Avec le même effort, sur une rampe de 40 millimètres, il faudrait une batterie de 3.700 kilogrammes : actuellement, cette rampe, qui est celle de la rue de Rome, est gravie avec 2 tonnes d'accumulateurs et sans récupération.

M. Costa a comparé également la dépense d'énergie, comptée au tableau de la station centrale, pour une voiture à accumulateurs, avec récupération, pesant 12 tonnes, et une voiture à fil de travail aérien de 10 tonnes ; il a trouvé que la dépense pour la voiture à accumulateurs, par rapport à l'autre système, serait de :

1,56	sur une rampe de	1	pour cent
1,42	—	2	—
1,36	—	3	—
1,32	—	4	—
1,21	—	10	—
1,17	—	90	—

de sorte qu'il conclut que la dépense d'énergie reste toujours plus grande dans le cas d'une voiture à récupération qu'avec le système du fil aérien.

Rendement pratique dans la voiture à accumulateurs avec récupération. — Nous avons supposé, dans le calcul précédent, que le rendement de récupération était de 70 pour cent ; c'est là un point de vue théorique. En pratique, il faut considérer qu'on ne peut utiliser plus de 85 pour cent de l'énergie mécanique, car on doit freiner aux descentes, c'est-à-dire quand on applique la récupération.

La transformation de l'énergie mécanique, engendrée par l'inertie de la voiture à la descente, en énergie électrique est faite avec un rendement moyen de 75 pour cent dû aux organes mécaniques. Le rendement *en énergie* des accumulateurs est, en moyenne, de 70 pour cent avec un rendement de 75 pour cent pour le moteur électrique qui devient géné-

ratrice. Le rendement total de l'énergie récupérée est donc de :

$$0,85 \times 0,75 \times 0,70 \times 0,75 = 0,33,$$

soit un tiers.

En appliquant ce coefficient, on peut calculer, comme précédemment, le poids de la batterie d'accumulateurs nécessaire pour dépenser une quantité d'énergie égale à celle qui serait dépensée avec une voiture à fil aérien.

On a l'équation :

$$P(\alpha + f.)\,lv = lv\,(P + p)\,[(\alpha + f) - 0,33\,(\alpha - f)],$$

d'où :

$$p = \frac{0,33P\,(\alpha - f)}{0,67\alpha + 1,33f}.$$

Si l'on fait successivement dans cette formule α égal à 20, 30, 40, 50 millimètres, on a les poids p correspondants :

	α en millimètres	p en tonnes
	—	—
Pour	20	0,9
	30	1,65
	40	2,15
	50	2,53

Quelque intéressants que soient ces chiffres donnés par la théorie, la pratique seule peut fixer sur les avantages de ce système de récupération qui a ses partisans et ses détracteurs. Nous avons négligé, dans ce système de récupération, les causes qui augmentent la consommation d'énergie électrique (arrêts, démarrages fréquents, aiguilles, etc.). Remarquons qu'il suffisait de démontrer que le résultat théorique est avantageux, et que dans la pratique l'on trouve une économie sur l'ancien mode d'exploitation des tramways à accumulateurs.

Essais pratiques de récupération. — Des essais pratiques de récupération avec les voitures à accumulateurs ont été faits, à Paris, sur la ligne de Madeleine-Saint-Ouen-Saint-Denis : ils ont été dirigés par M. Sarcia.

Les moteurs électriques employés sont forcément des moteurs en dérivation qui, travaillant comme réceptrice ou comme génératrice, tournent toujours dans le même sens.

Sur la voiture étaient installés tous les appareils nécessaires à contrôler comment se faisait la récupération qui était enregistrée par un wattmètre. Les courbes de la figure 208 donnent la dépense en énergie sur une partie du parcours et la récupération correspondante ; celle-ci est figurée par la partie hachurée. On voit, dans le premier cas, que l'énergie récupérée, 385 watt-heures, atteint les 39 pour cent de l'énergie dépensée : 976,5 watt-heures ; dans le second cas, l'énergie récupérée, 216 watt-heures, atteint les 34 pour cent de l'énergie dépensée : 625,8 watt-heures.

Il résulte que ce coefficient de récupération est approximativement, en pratique, celui que nous calculions plus haut et que nous avions trouvé égal à 33 pour cent.

Comme on le voit, sur certains profils accentués, la récupération de l'énergie avec tramways à accumulateurs, peut donner des résultats intéressants, dignes de fixer l'attention des praticiens.

Cependant, nous appellerons l'attention sur un système qui pourrait bien être la vraie solution, surtout dans les grandes villes, où le fil aérien ne peut être placé. Nous voulons parler du système mixte : celui où l'on combine la traction par fil aérien et celle par accumulateurs.

Système mixte : fil aérien combiné avec les accumulateurs. — Le rendement énoncé plus haut s'accentuera encore en combinant le système de traction par fil aérien avec celui par accumulateurs, car ce système permettra de charger la batterie pendant le parcours avec fil aérien, pour dépenser cette énergie emmagasinée pendant le parcours où l'on emploiera la batterie seule.

Le principe consiste à monter en dérivation la batterie

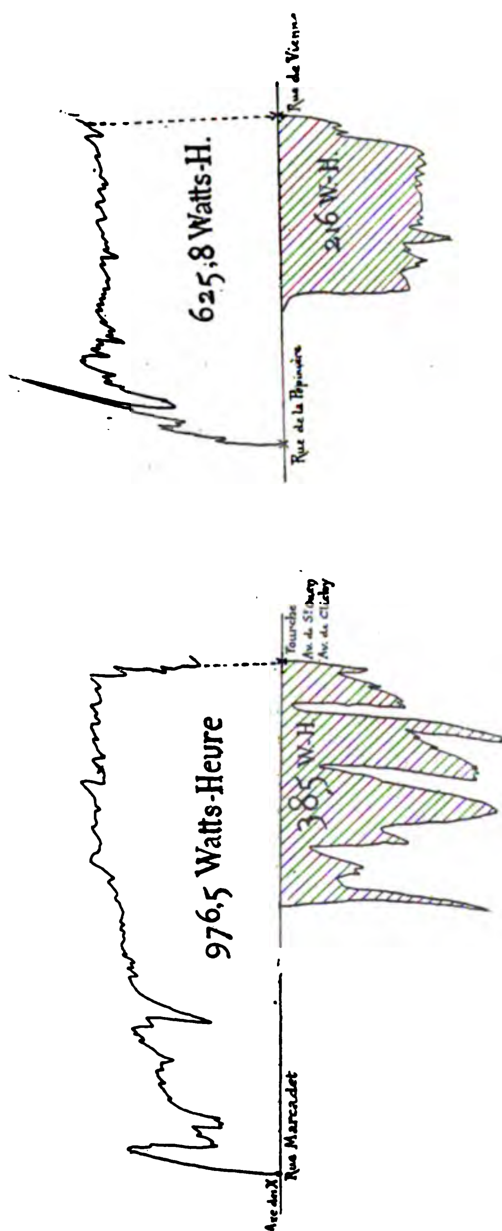


Fig. 208. — Récupération d'énergie avec un tramway à accumulateur.

qui se charge, sans prendre de précautions bien spéciales, car dans le système à accumulateurs on emploie de plus en plus des accumulateurs robustes, dont le principe est la formation Planté.

Pour donner un exemple de l'intérêt que présente ce système, prenons une ligne ABC en palier (*fig.* 209), divisée en trois parties égales de longueur l, dont une longueur $2l$ est équipée en fil aérien, en dehors de la ville et une longueur l, à l'intérieur de la ville, est parcourue avec la batterie seule.

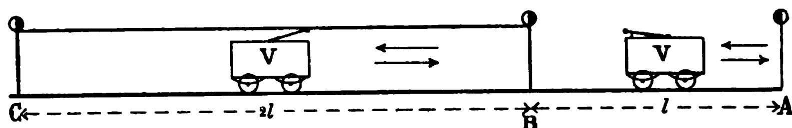


Fig. 209.

La voiture part du point A et va de A en B, en marchant avec la batterie seule ; elle dépense, en prenant les mêmes désignations que précédemment :

$$W = \frac{(P + p)\,f.l}{0,70}\,v.$$

De B en C, cette quantité d'énergie W est reprise par les accumulateurs pendant la marche de la voiture dans la partie en trolley, où la voiture dépense pour la marche au trolley :

$$W_1 = (P + p)\,f.2lv.$$

Pour l'énergie dépensée à la station pour la recharge de la batterie, on a :

$$W_2 = \frac{W}{0,70}.$$

Le total de l'énergie dépensée à la station est donc :

$$W_1 + W_2 = (P + p)\,f.2lv. + \frac{(P + p)\,f.lv.}{0,70 \times 0,70} = l.f.v.\,(P + p)\left[2 + \frac{1}{0,49}\right]$$
$$= 4,04.l.f.v.\,(P + p)$$

Pour le retour, on dépensera la même quantité d'énergie, de sorte que, pour un voyage complet (aller et retour), la dépense d'énergie en kilogrammètres sera :

$$(1) \qquad 8{,}08.l.f.v.\ (P + p).$$

Si l'on avait marché sur toute la ligne avec les accumulateurs seuls, on aurait eu une dépense de :

$$(2) \qquad \frac{2 \times 3lf.v.(P + p)}{0{,}70} = 12{,}24\ lfv\ (P + p).$$

Dans la marche mixte on a donc économisé l'énergie représentée par la différence des équations (1) et (2), soit :

$$4{,}16lf\ (P + p).$$

Ce qui conduit à une économie de 34 pour cent.

Marche mixte avec dépôt de la batterie d'accumulateurs. — Dans l'exemple précédent nous avons remorqué, pendant la marche en fil aérien, la batterie ; il peut arriver que les dispositions de la ligne permettent de *déposer* la batterie en B, par exemple, et là, de la charger en dérivation, pendant qu'on alimente le fil de travail. Il en résulte les mêmes avantages que précédemment avec une économie d'énergie plus grande, que l'on peut évaluer ainsi :

1° Kilogrammètres dépensés pendant la marche mixte, sans déposer la batterie :

$$8{,}08lf.v\ (P + p)\ ;$$

2° Kilogrammètres dépensés pendant la marche mixte, en déposant la batterie en B :

$$2\left[\frac{lf\,(P + p)\,lv}{0{,}70} + 2lPf.v\right] = 2{,}85l.fv\,[2{,}4P + p.].$$

Soit une économie de :

$$e = 8{,}08 lfv.\,(P + p) - 2{,}85 lfv.\,[2{,}4P + p.] = 1{,}24 lf.v.P. + 5{,}23 lf.v.p.$$
$$e = lfv.\,[1{,}24P + 5{,}23p.].$$

Soit, en pourcentage :

$$\frac{lfv\,[1{,}24P + 5{,}23p]}{8{,}08 lf.\,(P + p)} = \frac{1{,}24P + 5{,}23p}{8{,}08\,(P + p)}.$$

Si l'on fait : $P = 10$ tonnes, et $p = 2$ tonnes, on a :

$$e = \frac{22.46}{96{,}96} = 0{,}23.$$

Soit une économie de 23 pour cent de la puissance à la station centrale, dans la marche mixte avec dépôt de la batterie sur la marche mixte sans dépôt de cette batterie.

Si, au contraire, on avait marché sur toute la ligne en fil aérien, on aurait eu une dépense de

$$2 \times 3l.f.v.P.$$

Le rapport de la dépense d'énergie de cette marche avec celle où la batterie est déposée est :

$$\frac{6lfv.P.}{2{,}85 lf\,(2{,}4P + p)} = \frac{6P}{2{,}85\,(2{,}4P + p.)} = \frac{60}{74},$$

soit une économie de 20 pour cent d'énergie dans la marche à fil aérien sur la marche mixte avec dépôt.

Nous avons pris cette hypothèse théorique d'une ligne entièrement en palier pour faire ressortir l'importance des différents chiffres se rapportant à la dépense d'énergie, en employant telle ou telle combinaison. Si l'on cherchait, par le calcul, les chiffres qui se rapporteraient à l'une des combinaisons proposées, et cela sur un *profil quelconque*, le problème serait assez difficile à résoudre.

Quoi qu'il en soit, les chiffres obtenus font ressortir l'avan-

tage de l'emploi de la *marche mixte* avec accumulateurs et fil aérien combinés.

Avantages du système mixte. — Nous ferons ressortir quelques avantages de la marche mixte en dehors de ceux qui ont déjà été signalés précédemment et qui se rapportent à l'économie d'énergie dépensée à la station centrale. Il importe de remarquer qu'avec ce système les batteries ne sont *jamais* déchargées à fond comme dans le cas de la marche ordinaire à accumulateurs : c'est un point qui a son importance, car le rendement élevé des accumulateurs et un entretien peu coûteux en dépendent, et nous avons vu que ce facteur jouait le principal rôle, dans le prix de revient de la voiture-kilomètre ; il importe donc de le diminuer autant que possible.

Un autre avantage du système mixte est de mieux proportionner la capacité de la station centrale génératrice avec les besoins du trafic et de réduire ainsi au minimum les dépenses de premier établissement.

De plus, avec ce système, on atténue, dans la limite du possible, les variations de charge très brusques qui existent avec le système à fil aérien.

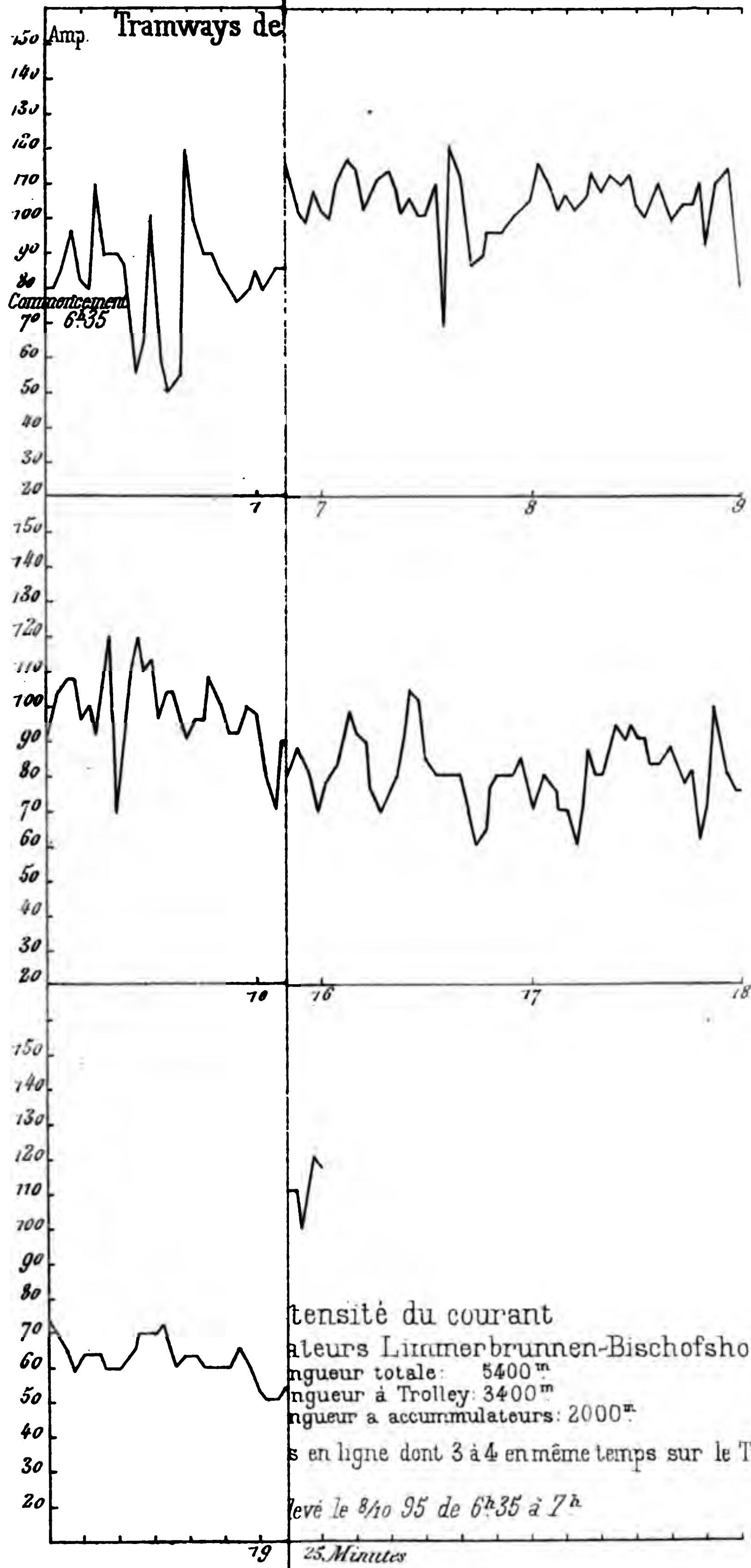
Pour bien faire ressortir cet avantage, nous donnons les courbes de charge d'une marche à trolley et d'une marche mixte sur l'une des lignes des tramways du Hanovre. La simple inspection des figures démontre que l'avantage est au système mixte, ce qui était déjà évident.

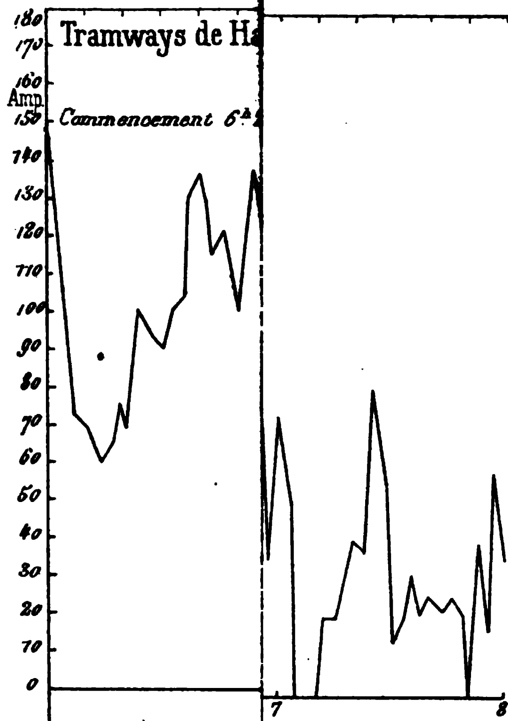
Enfin, dans le système mixte avec dépôt de la batterie, à l'économie d'énergie qui résulte de cette manœuvre s'ajoute celle qui résulte de ce que les batteries ne sont pas fatiguées par les secousses et les trépidations inévitables que reçoit le tramway en marche, et ce n'est pas là le moindre avantage, car l'entretien coûteux de ces accumulateurs est, en grande partie, occasionné par les chocs mécaniques dus aux trépidations.

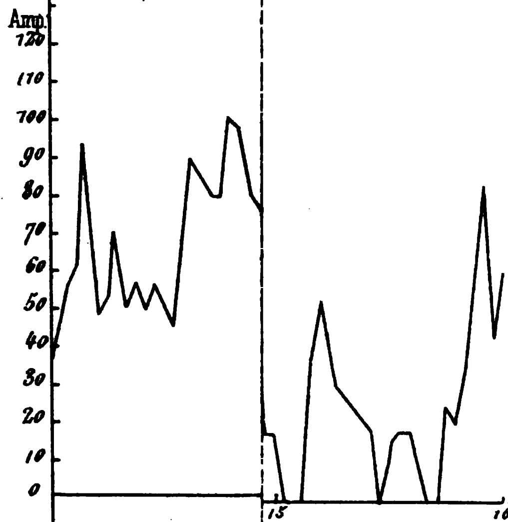
Etant donnés ces divers avantages, nous estimons que la traction mixte, par accumulateurs et trolley, est appelée à prendre une importance qui ira en augmentant à mesure

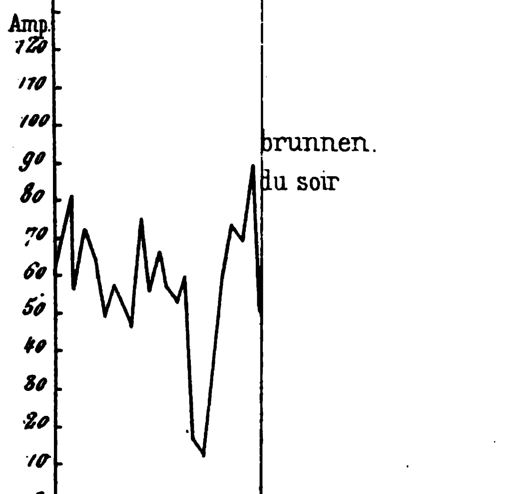
que les accumulateurs se perfectionneront, l'application de ce système de traction étant plus spécialement indiquée pour l'exploitation des transports en commun dans les villes importantes à grand trafic, où l'emploi du fil aérien ne peut être permis et où il y a un service suburbain à faire.

Disons, pour terminer, que des essais de ce système mixte sont faits par diverses sociétés en France. En Allemagne, ce système donne toute satisfaction sur les lignes du Hanovre où les accumulateurs employés, dits à charge rapide, sont du système Tudor-Müller.


Tramways de
Amp.
150
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
Commencement 6h35
7
7
8
9
10
16
17
18
19
25 Minutes
tensité du courant
ateurs Limmerbrunnen-Bischofsholerdamm.
ngueur totale: 5400m
ngueur à Trolley: 3400m
ngueur a accummulateurs: 2000m
s en ligne dont 3 à 4 en même temps sur le Trolley
levé le 8/10 95 de 6h35 à 7h


Tramways de H
Commencement 6h
Amp.
180
170
160
150
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
7
8


Amp.
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
15
16


Amp.
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
brunnen.
du soir

TROISIÈME PARTIE

EXPLOITATION
CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES
PRIX DE REVIENT
RENDEMENT FINANCIER

CHAPITRE I

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES. — PRIX DE REVIENT

Frais d'exploitation à la station centrale : tableaux divers. — Feuille d'exploitation. — Énergie consommée par voiture-kilomètre. — Frais d'entretien de la caisse, du truck et du trolley. — Durée pratique des divers organes. — Frais de personnel : prix unitaires. — Prix de revient : répartition détaillée des dépenses d'exploitation d'une entreprise de tramways électriques. — Considérations sur l'établissement du prix de revient de la voiture-kilomètre. — *A*. Prix de revient de la voiture-kilomètre avec fil de travail aérien : prix, en Amérique, donnés par MM. Watson, Badger, Crossby et Bell. — Prix de la voiture-kilomètre des tramways de Washington, de Kansas City, de Pittsburg et de Rochester. — Frais d'exploitation des lignes de tramways électriques de l'Etat de Massachusetts et des lignes de la West End Railway C°, de Boston. — Prix donnés par la General Electric C°, par la Edison C°. — Prix de revient détaillé de la voiture-kilomètre de la West End Street-Railway C°. — Prix de la voiture-kilomètre à Cincinnati, à New-York ; comparaison avec celui obtenu à Vevey-Montreux, Clermont-Ferrand et Budapesth. — Répartition des dépenses d'exploitation suivant les différents chapitres. — Prix de revient de la voiture-kilomètre dans les différents pays d'Europe. Allemagne : tramways de Hambourg, de Francfort à Offenbach, de Halle ; Angleterre : tramways de Birmingham, de South-Strafordshire ; France : tramways de Dijon, Oullins (Lyon), Le Havre ; divers. — Suisse : tramways de Vevey-Montreux ; Belgique : tramways de Bruxelles. — *B*. Prix de revient de la voiture-kilomètre avec fil de travail souterrain. — Tramways de Budapesth, système Siemens. — Tramways système Lineff. — Tramways de Washington. — Résumé des prix de revient de la voiture-kilomètre dans les pays considérés.

L'exploitation des lignes de tramways électriques peut se diviser, comme toutes les exploitations de transport en

commun, en deux parties principales : 1° l'exploitation commerciale proprement dite, qui comprend les services administratifs et les différentes subdivisions : contrôle, recette, etc.; 2° l'exploitation technique, qui comporte l'ensemble des moyens de production de la traction et leur prix de revient. Nous n'examinerons que cette deuxième partie de l'exploitation, la première n'entrant pas dans le programme que nous nous sommes tracés. Nous examinerons, avec le plus de détail possible, les prix de revient qui, au point de vue où nous nous plaçons, sont la partie la plus importante de l'exploitation, car on peut dire que, quel que soit le genre de traction employé, les frais relatifs à l'exploitation commerciale sont à peu près identiques. Nous ferons remarquer, en passant, combien, dans l'état actuel de la traction électrique, il est difficile de se renseigner exactement sur les résultats obtenus, au point de vue des prix de revient : les Compagnies exploitantes semblent ne pas vouloir donner ces prix de revient qui, examinés par les concurrents, par les municipalités, ou par ceux qui ont intérêt à les connaître, pourraient diminuer les avantages que ce mode de traction a pu leur procurer. Cette situation est surtout spéciale aux pays d'Europe; en Amérique, ce n'est pas la défiance ou d'autres raisons qui font qu'on rencontre cette difficulté, déjà cependant moins grande. Les Américains, commerçants avant tout, s'attachent assez peu aux statistiques et aux méthodes qui font exactement connaître le prix de revient de la voiture-kilomètre par exemple : ils savent que les dépenses ont été de tant, que les recettes sont de tant : la différence est le bénéfice, qui est le critérium d'une exploitation bonne et économique, et qui fait juger tel système bon ou mauvais, par les résultats qu'il donne dans cet ordre d'idées.

Nous donnerons d'abord quelques indications générales sur les frais d'exploitation à la station génératrice, en insistant spécialement sur les parties qui concernent l'exploitation d'un tramway électrique, par exemple le prix de revient de l'énergie électrique en fonction de la puissance et du coefficient d'utilisation de la station centrale.

Nous examinerons les données relatives à l'entretien du

matériel en général, à la durée des divers organes qui constituent un tramway électrique.

Ensuite nous passerons à la partie la plus importante de ce chapitre : l'établissement des prix de revient de la voiture-kilomètre. Nous donnerons tous les détails que nous avons pu nous procurer sur cette intéressante question qui, comme nous le disions plus haut, est le point le plus important à faire ressortir dans tous les systèmes de traction, et en particulier dans la traction électrique.

I. — Considérations générales sur les frais d'exploitation en traction électrique

Frais d'exploitation à la station centrale. — Pour établir l'importance des frais d'exploitation à la station centrale, nous donnons le tableau suivant, dressé par MM. Crossby et Bell. Ce tableau donne la dépense, par cheval électrique, faite pour les différents chapitres concernant l'exploitation d'une station centrale : le prix total du cheval électrique comprend les frais d'administration, d'ingénieurs, des électriciens, des chauffeurs, des manœuvres, les frais de production de la force motrice : charbon, huile, eau, déchet ; enfin, l'intérêt et la dépréciation du matériel et des bâtiments : ce qui constitue un amortissement.

Ce tableau est très intéressant, car il permet d'établir, pour une station d'une capacité variant de 100 à 6.000 chevaux-vapeur, les frais se rapportant à chaque service.

On voit combien ces chiffres sont variables, puisque, pour une capacité de 100 et de 1.000 chevaux-vapeur, les frais se rapportant au personnel varient, en moyenne, de 10 à 1, et cela proportionnellement à la capacité de la station. Au contraire, les prix du charbon, de l'huile restent constants par cheval électrique ; enfin, les frais se rapportant à l'amortissement et à la dépréciation sont égaux pour le matériel à vapeur et électrique : ce qui veut dire que la dépense a été la même.

COUT D'UN CHEVAL-HEURE ÉLECTRIQUE EN CENTIMES

CAPACITÉ DE LA STATION EN CHEVAUX-VAPEUR	100	300	500	800	1 000	1 500	2 000	3 000	4 000	5 000	6 000
Ingénieur	2,0	0,65	0,40	0,25	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Chauffeurs	1,5	0,50	0,30	0,185	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Électriciens aux dynamos	2,0	0,65	0,40	0,25	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Aides	1,25	0,40	0,25	0,155	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125
Administration	1,50	0,50	0,30	0,185	0,15	0,10	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05
Charbon	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37
Huile, eau, déchet	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Intérêts et dépréciation du matériel à vapeur	0,285	0,235	0,220	0,165	0,14	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
Intérêts et dépréciation du matériel électrique	0,285	0,235	0,220	0,165	0,14	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
Intérêts et dépréciation des bâtiments	0,19	0,125	0,11	0,085	0,07	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055
Prix total en centimes.	12,13	10,415	4,92	4,36	4,295	4,17	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14

Pour établir les prix donnés dans ce tableau, on a compté que le charbon coûtait 15 fr. 30 la tonne, la consommation étant de $1^{kg},5$ par cheval électrique, mesuré aux bornes de la dynamo.

Les prix de premier établissement ont été pris égaux à 250 francs le cheval-vapeur dans les installations de peu d'importance, jusqu'à 1.000 chevaux; et de 100 francs pour des installations d'une capacité supérieure à 1.500 chevaux-vapeur. Le prix du matériel électrique a été également de 250 à 100 francs le cheval électrique, pour les mêmes capacités.

Le prix des bâtiments a varié de 125 à 50 francs par cheval-vapeur, suivant la capacité de l'usine considérée.

L'intérêt et les taxes ont été pris égaux à 10 pour cent par an du prix total de l'installation complète.

Comme on le voit, le prix total du cheval-heure électrique reste constant et égal à 4,14 centimes, à partir de 2.000 chevaux jusqu'à 6.000. Pour des capacités d'usine variant de 100 à 1.500 chevaux-vapeur, ce prix a été de 12,13 à 4,17 centimes.

On comprend facilement que les prix du cheval électrique sont fonction du temps pendant lequel la station centrale est en marche et suivant que l'on emploie la capacité totale ou partielle. M. Crossby a établi un tableau qui donne le prix du cheval électrique : 1° en fonction de la capacité de la station centrale; 2° en fonction de la durée moyenne de la marche de la station ; 3° en fonction de l'utilisation du matériel.

COUT TOTAL D'UN CHEVAL-HEURE EN CENTIMES

COEFFICIENT D'UTILISATION du matériel en pour cent	HEURES DE TRAVAIL par jour	CAPACITÉ DE LA STATION CENTRALE EN CHEVAUX-VAPEUR							
		100	300	500	800	1 000	1 500	2 000	3 000
100	24	12,10	6,45	5,30	4,57	4,30	4,16	4,15	4,12
	18	12,60	6,50	5,55	4,69	4,44	4,27	4,24	4,14
	12	14,25	7,60	6,10	5,10	4,77	4,75	4,47	4,33
90	24	12,20	6,80	5,6	4,83	4,40	4,30	4,25	4,15
	18	13,85	7,25	5,85	4,90	5,00	4,40	4,35	4,26
	12	15,50	8,05	6,45	5,30	4,95	4,70	4,62	4.45
80	24	14,35	7,25	5,90	4,83	4,60	4,95	4,40	4,30
	18	15,30	7,75	6,15	5,15	4,90	4,68	4,63	4,50
	12	17,10	8,65	6,85	5,65	5,30	5,00	4,90	4,75
70	24	16,95	7,85	6,30	5,20	4,80	4,62	4,55	4,45
	18	17,10	8,40	6,60	5,45	5,05	4,66	4,70	4,55
	12	19,10	9,50	7,40	5,95	5,45	5,10	5,05	4,85
60	24	18,10	8,65	6,80	5,55	5,05	4,87	4,80	4,70
	18	19,25	9,25	7,20	5,80	5,30	5,07	5,00	4,82
	12	16,55	10,55	8,15	6,50	5,85	5,42	5,25	5,07
50	24	21,10	9,75	7,60	6,00	5,50	5,20	5,15	5,00
	18	22,50	10,50	8,05	6,35	5,75	5,45	5,38	5,19
	12	25,45	12,00	9,15	7,15	6,40	5,95	5,85	5,57
40	24	25,55	11,40	8,55	6,75	6,05	5,75	5,65	5,50
	18	27,35	12,40	9,40	7,20	6,65	6,25	6,15	5,85
	12	26,00	14,10	10,85	8,20	8,00	6,90	6,75	6,40
30	24	33,15	14,20	10,50	7,95	7,00	6,62	6,50	6,30
	18	35,40	15,10	11,35	8,55	7,55	7,00	6,90	6,60
	12	40,30	17,60	13,25	9,90	8,65	8,85	7,70	7,20

Feuille d'exploitation. — La station génératrice tient un registre où l'on inscrit, chaque jour, les conditions de marche et les observations spéciales. Ce registre permet de se rendre compte de la consommation du charbon, de l'huile, de l'eau, etc., en fonction de la charge : il établit une comptabilité simple à ce point de vue.

La feuille type du registre d'exploitation peut se ramener au modèle suivant :

MOIS DE FÉVRIER 1896

Le 20

Matières premières employées.	Charbon en kilogrammes..........	12 525	Heure de mise en marche : Six heures du matin.
	Huile — —	54	
	Eau — —	75 000	
Unités en service...........	Machines à vapeur.............	Nos 1 et 3	Observations générales sur la marche à l'usine.
	Dynamos....................	Nos 1 et 3	
	Chaudières.......	Nos 2 et 3	
Nombre de voitures en service.	Voitures à deux moteurs...............	8	Observations générales sur la marche des voitures.
	Voitures à un moteur..................	3	

MARCHE AU TABLEAU

HEURES	AMPÈRES	VOLTS	OBSERVATIONS SPÉCIALES	HEURES	AMPÈRES	VOLTS	OBSERVATIONS SPÉCIALES
6	120	550					
6 30	135	550					
6	160	530					
7 30	150	540					

Énergie consommée par voiture-kilomètre. — Il est intéressant de compléter ces renseignements en indiquant quelle peut être la consommation d'énergie, exprimée en kilowatts-heure, par voiture-kilomètre. Pour ne pas avoir à tenir compte du rendement de la ligne, des moteurs électriques et de leurs engrenages, qui varient suivant les cas considérés, il est plus logique de prendre la consommation d'énergie électrique, par voiture-kilomètre, au tableau de distribution de la station centrale.

On peut dire, comme moyenne générale, et dans des conditions ordinaires, que par voiture-kilomètre, l'on dépense à l'usine 736 watts, soit un cheval électrique; ce chiffre est celui qui a été obtenu par les tramways de Roubaix-Tourcoing et du Havre. Ce chiffre moyen peut cependant être abaissé : c'est ainsi que, dans certaines installations, on arrive à la consommation de 500 watts, qui a été atteinte, en France, sur la ligne d'Oullins à Lyon.

Ce chiffre peut être notablement abaissé : c'est ainsi que, sur les lignes des tramways de Washington, exploitées par la Metropolitan Railroad C°, la consommation n'a été que de 340 watts, en moyenne, par voiture-kilomètre.

Ces tramways sont à lignes souterraines, de sorte que les pertes sont sensiblement diminuées, ce qui explique ce chiffre très bas. M. N. Connett, l'ingénieur chargé de la direction des installations électriques de cette Compagnie, a publié à ce sujet des chiffres intéressants, consignés dans le tableau qui suit (1). Un deuxième tableau donne la dépense de charbon par kilowatt-heure produit.

Ces chiffres se rapportent aux tramways de Washington, qui ont été inaugurés en juillet 1895 ; chaque voiture motrice en remorque une autre (non motrice) ; l'ensemble des deux voitures pèse à vide 9.250 kilogrammes en été, et 9.650 kilogrammes en hiver.

Le nombre de voitures, par deux, en service journalier a été de 22 pendant les six premiers mois; à ce jour il est de 26

(1) *The Street-Railway Journal.* — Février 1896.

MOIS DE L'ANNÉE 1895	NOMBRE DE KILOMÈTRES PARCOURUS PAR			KILOWATTS-HEURE dépensés par jour en moyenne	CONSOMMATION DE CHARBON			WATTS-HEURE dépensés par voiture-kilomètre
	Voitures motrices	Voitures attelées	Total		Par jour en moyenne	Par kilowatt-heure	Par voiture-kilomètre	
Octobre.......	147 290	146 683	293 973	3 092	6 058	1,957	0,638	326
Novembre.....	139 088	134 574	273 662	3 028	5 775	1,907	0,633	331
Décembre.....	153 343	153 343	306 686	3 377	6 182	1,830	0,625	341
Du 1er au 18 déc.	—	—	—	3 262	5 665	1,736	—	—

Une remarque qui résulte des chiffres publiés par M. Connett est que la consommation de charbon est d'autant plus grande que le nombre de kilowatts-heure produits par chaque machine est plus petit. En d'autres termes, la consommation de charbon par kilowatt-heure produit diminue quand le coefficient de charge de l'usine génératrice augmente; le tableau suivant fait clairement ressortir ce résultat: pour la plus faible charge totale, soit 2.585 kilowatts-heure (dimanche 15), la consommation de charbon a été de 2 kilogrammes par kilowatt-heure.

MOIS DE DÉCEMBRE 1895 Jours et dates	HEURES DE MARCHE DES MACHINES			KILOWATTS-HEURE PRODUITS		KILOGRAMMES DE CHARBON BRULÉ	
	N° 1	N° 2	Total	Par les machines — Total	Par machine et par heure	Total	Par kilowatt-heure
Samedi 14....	20,5	—	20,5	3 605	176	6 129	1,693
Dimanche 15....	19,75	—	19,75	2 585	131	5 176	2,002
Lundi 16....	20,5	—	20,5	3 405	166	5 468	1,680
Mardi 17....	20,5	—	20,5	3 555	173	5 993	1,684
Mercredi 18....	20,5	9	29,5	3 590	122	6 770	1,975
Jeudi 19....	20,5	16,5	37,0	3 590	97	7 627	2,125
Vendredi 20....	20,5	14,17	34,67	3 340	96	8 172	2,447
Samedi 21....	14,65	18,17	32,84	3 685	112	7 763	7,007
Dimanche 22....	19,75	—	19,75	2 700	136	5 448	2,016

Frais de personnel, prix unitaires. — Le personnel d'une exploitation d'ensemble varie avec le nombre des voitures en circulation.

Usine génératrice. — Le personnel de la station centrale sera variable suivant l'importance de celle-ci. Comme indication, on peut dire qu'il faudra :

Un ingénieur-directeur, dont les appointements varient de	6 000 à 10 000 fr.	par an
Un ingénieur ordinaire, dont les appointements varient de	4 500 à 7 000	—
Un chef de station, dont les appointements varient de	3 500 à 5 000	—
Un mécanicien-électricien par groupe de machines, dont les appointements varient de	2 800 à 3 500	—
Un chauffeur par groupe de chaudières, dont les appointements varient de	2 000 à 2 500	—
Un manœuvre-aide par groupe unitaire de machines, dont les appointements varient de	1 200 à 1 500	—

Matériel roulant. — Chaque voiture aura :

	Par jour.
Un conducteur-mécanicien, dont le salaire varie de	6 à 7 fr. 50
Un receveur — —	5 à 6 50

Un inspecteur de ligne sera nécessaire pour 25 à 30 voitures en circulation. Son salaire varie de 200 à 250 francs par mois.

Au dépôt, on aura :

Un mécanicien pour les réparations, par 12 voitures. Son salaire varie de	7 à 10 »
Un nettoyeur pour 10 à 15 voitures. Son salaire varie de	4 à 5 50

II. — Entretien général

Entretien de la voie de roulement. — On peut compter qu'une voie bien établie, sur traverses en bois,

coûte un entretien annuel de 2.000 à 2.500 francs par kilomètre. Une voie établie sur béton coûte moins cher d'entretien, de 1.500 à 1.800 francs.

Entretien du matériel roulant. — Nous allons donner maintenant quelques détails sur l'entretien général du matériel roulant, car à l'usine génératrice l'entretien est du même ordre d'idées, que celui obtenu dans les stations centrales pour éclairage électrique où l'on prend, comme chiffres moyens, 2 pour cent pour le matériel mécanique, et 3 pour cent pour le matériel électrique, du prix de premier établissement.

Entretien de la caisse et du truck. — L'entretien de la caisse de la voiture et du truck peut être pris égal à environ 20 pour cent de leur prix d'achat, et cela au bout de quelques années de marche, de sorte que, si l'on cherche la valeur de cet entretien par voiture-kilomètre, on trouve qu'il est, en moyenne, de 2,2 à 2,5 centimes.

L'entretien du truck comprend celui des moteurs et du mécanisme de réduction.

Pour ce qui concerne l'entretien de ce mécanisme (engrenage de réduction et suspension), on évalue, en moyenne, que cette dépense varie entre 0,5 et 1 centime. Nous donnons ci-dessous le détail des frais d'entretien de chaque partie constituant ce mécanisme (chiffres donnés par MM. Crossby et Bell); ces prix sont établis en divisant le coût initial de chaque pièce par le nombre de voitures-kilomètres parcourues et nécessaires pour en déterminer le remplacement.

ENTRETIEN DU MÉCANISME DE RÉDUCTION DE VITESSE

	DURÉE en voitures-kilomètres	COUT PRIMITIF en francs	COUT Par voiture-kilomètre en centimes
Engrenage de l'essieu.........	47.360	37,50	0,075
Engrenage intermédiaire......	45.760	31,25	0,0687
Pignon intermédiaire.........	16.080	33,75	0,2151
Pignon de l'armature.........	13.216	30,25	0,228
Soutien de l'armature.........	38.720	18,50	0,046
Soutien intermédiaire.........	56.000	22,00	0,0411

Entretien du trolley. — La principale dépense est le remplacement de la roue du trolley. On estime que celle-ci peut parcourir environ 10.000 voitures-kilomètres avant d'être mise hors d'usage; comme son coût initial est d'environ 8 francs, on a de ce chef une dépense de 0,08 centimes par voiture-kilomètre.

Durée pratique des divers organes. — Les renseignements à ce sujet sont très rares et difficiles à obtenir, nous pourrons cependant donner quelques indications.

Nous donnons, dans le tableau suivant, le nombre de voitures-kilomètres que chaque organe peut parcourir avant d'être remplacé. Ces chiffres se rapportent à des moteurs à double réduction et ont été obtenus sur :

				Durée moyenne en voitures-kilomètres.
62	essieux porteurs			21 104
22	—	en bronze		59 736
32	—	—	encore en service	91 245
90	armatures			16 595
17	—	en bronze		19 535
87	Pièces intermédiaires			31 815
75	axes des engrenages en fer			29 253
86	engrenages intermédiaires en fer			28 253
37	pignons	—	en acier	30 774
3	—	—	en cuir vert	10 143
2	—	—	en bronze	17 960
8	—	—	en acier strié	33 603
13	armatures de pignons en acier			43 790
22	—	en cuir vert		26 165
1	—	en bronze		18 851

Ces chiffres ont été obtenus avec des voitures parcourant en moyenne 215 voitures-kilomètres par jour [1].

Nous complèterons ces indications par un tableau, donnant, dans neuf cas particuliers, la distance moyenne en voitures-kilomètres que parcourt chaque organe avant d'être réparé pour la première fois à l'atelier.

[1] *The Street-Railway Journal.*

TABLEAU DONNANT, EN VOITURES-KILOMÈTRES, LA DISTANCE QUE PARCOURT CHAQUE ORGANE AVANT D'ÊTRE RÉPARÉ

OBSERVATIONS	ÉQUIPEMENT ÉLECTRIQUE				ÉQUIPEMENT MÉCANIQUE				DIVERS			
	CONTROLEURS	ARMATURES ET CHAMPS	TROLLEYS	DIVERS	ENGRENAGES ET PIGNONS	FREINS	PALIERS graisseurs	ROUES	DIVERS	SABLIÈRE	FENDERS (Appareils protecteurs)	VITRES
A........	13 184	18 344	24 955	32 455	93 464	6 541	19 178	120 555	843 894	432 047	49 623	843 894
B........	10 723	71 575	42 945	27 964	71 576	25 260	17 893	42 945	322 090	128 853	115 018	209 300
C........	23 964	13 478	86 275	53 922	431 470	11 983	53 922	431 476	431 323	442 773	15 873	431 373
D........	18 289	43 888	72 530	66 000	219 510	11 353	16 680	658 557	658 557	658 557	65 855	144 764
E........	10 714	29 467	47 148	19 143	236 845	6 203	39 290	39 290	112 871	47 148	58 935	235 744
F........	12 004	26 655	61 548	27 386	58 423	35 152	438 174	876 350	292 111	876 334	43 495	67 520
G........	10 487	37 419	64 428	24 514	112 245	8 516	56 372	134 227	112 745	451 985	30 061	28 480
H........	82 692	31 553	198 460	110 250	330 770	4 134	99 332	141 762	66 153	992 320	209 463	248 080
I........	10 677	15 570	19 410	19 080	28 030	4 295	51 959	35 035	224 227	160 162	69 213	10 988
Moyennes...	14 087	32 893	48 847	42 230	54 456	7 060	27 645	86 870	201 755	312 720	19 855	39 690

On voit que les chiffres, pour chacune des lignes, ABC.....I, sont assez variables : cela tient à ce que le matériel employé sur chacune d'elles était de qualité différente et plus ou moins perfectionné. Les moyennes représentent donc seules des chiffres intéressants ; elles ont été obtenues en divisant le nombre total de voitures-kilomètres par le nombre de lignes considérées.

Ces moyennes permettent de juger quels sont les organes qui demandent à être le plus souvent réparés, et par cela même elles attirent l'attention du constructeur et de l'ingénieur sur les moyens à employer pour perfectionner cet organe, afin d'augmenter sa durée d'utilisation et d'en diminuer ainsi le prix d'entretien.

III. — Prix de revient

Répartition détaillée des dépenses d'exploitation d'une entreprise de tramways électriques. — Les dépenses totales, concernant le service de l'exploitation d'une ligne de tramways électriques, constituent une comptabilité des plus complètes.

On peut classer ces dépenses en deux groupes principaux : I : les dépenses d'exploitation proprement dite ; II : les dépenses ou frais de traction.

Chacun de ces deux groupes se subdivise lui-même en différents chapitres, qui peuvent se classer sous les rubriques suivantes :

I. — Les dépenses d'exploitation proprement dite comprennent :

A. — L'administration générale;
B. — L'inspection et l'entretien de la voie ;
C. — L'entretien et les réparations des bâtiments ;
D. — Les dépenses extraordinaires ;
E. — Le service du trafic.

II. — Les frais de traction comprennent :

F. — Le service de la traction et de la station centrale génératrice.

Chacun de ces chapitres comprend des dépenses spéciales dont nous donnons la désignation, par le détail, dans l'exposé suivant :

A. ***Administration générale.*** — Ce chapitre comprend : 1° Les appointements des directeurs, ingénieurs, employés de bureau, secrétaires, comptables et des employés aux écritures. Les salaires des garçons de bureau, du portier; les frais de voyages, les gratifications, les uniformes des employés sont également compris dans ce chapitre ;

2° Les frais d'entretien des bureaux et du magasin : c'est-à-dire loyer, éclairage, chauffage, affranchissement, fournitures de bureau et de dessin, imprimés ; entretien et nettoyage des bureaux et du mobilier ;

3° Les frais divers, qui comprennent plus spécialement les frais d'assurances, de patente, d'annonces, de contentieux.

B. ***Inspection et entretien de la voie.*** — Ce chapitre comprend :

1° Les appointements d'un ingénieur et de ses aides (conducteurs et piqueurs) ;

2° Les dépenses générales : entretien de l'outillage pour le pavage de l'entre-voie, le nettoyage de la voie et du canal (dans le cas de tramways à conducteur souterrain), l'enlèvement des boues et le salaire des manœuvres employés à ces différents travaux ;

3° L'inspection de la voie, comprenant les salaires de l'inspecteur général et des inspecteurs de section qu'il a sous sa direction ;

4° L'entretien et les réparations de la voie qui comprend : l'entretien de la superstructure, c'est-à-dire l'entretien des rails et des aiguilles ; les travaux de terrassement, de pavage, le coût des matériaux.

Dans le cas d'un tramway à conducteur souterrain, il faut ajouter l'entretien de l'infrastructure, comprenant les caniveaux et ses accessoires, c'est-à-dire l'entretien des isolateurs, du matériel conducteur.

C. ***Entretien et réparation des bâtiments.*** — Ce chapitre comprend :

1° Les réparations aux bâtiments de la station centrale génératrice (salle de chaudières, salles des machines, cheminées, puits, tuyauterie);

2° Les réparations des bâtiments du dépôt, des remises, des ateliers de réparations, des fosses d'inspection;

3° Les réparations des bureaux publics d'attente, des indicateurs de halte;

4° Les réparations de la ligne électrique (câbles et boîtes de jonction).

D. ***Dépenses extraordinaires.*** — Ce chapitre comprend:

1° Le déblayage et l'enlèvement des neiges;

2° Les dépenses diverses qui ne trouvent pas à se classer dans celles des autres chapitres.

E. ***Service du trafic.*** — Ce chapitre comprend :

1° Les appointements et les salaires du personnel des bureaux publics d'attente et les appointements des contrôleurs spéciaux;

2° Les tickets, correspondances et imprimés divers;

3° Le service des haltes qui comprend: les salaires des aiguilleurs et gardiens de nuit, gardiens aux croisements et aiguillages;

4° Les appointements, salaires et uniformes des contrôleurs de tous rangs, des receveurs.

F. ***Service de la traction et de la station centrale génératrice.*** — Ce chapitre se subdivise de la façon suivante:

1° Frais d'usine qui comprennent: les appointements de l'ingénieur et des contremaîtres;

2° Les frais de traction, qui comprennent:

a) Les dépenses résultant de la production de la force motrice : charbon, huile, eau, chiffons, bois, matériaux pour faire les joints, remplacement des barres de grille des chaudières, des niveaux d'eau, plombs de sûreté, balais des dynamos, etc.

b) L'éclairage et le chauffage de la station centrale;

c) Les salaires et uniformes pour le service de la station centrale génératrice: mécaniciens, conducteurs des dynamos, graisseurs, chauffeurs et manœuvres;

d) Les frais de traction sur les tramways qui comprennent: matériaux, huile, chiffons, balais, blocs de frein, éclairage des voitures ;

e) Les salaires et uniformes du personnel, comprenant les conducteurs électriciens (wattman ou motorman), des garde-freins et du personnel sur les voitures remorquées;

f) Les frais de traction dans les dépôts, comprenant le contremaître, les ouvriers, les laveurs et autres manœuvres ;

3° Le service des ateliers de réparation des voitures qui comprend :

a) Charbon pour la forge, huile des machines-outils, chiffons, etc. ;

b) Eclairage, chauffage et nettoyage de l'atelier de réparation et du hangar de nettoyage ;

c) Salaires du personnel des ateliers de réparation ;

d) Entretien des machines et de l'outillage de l'atelier de réparation ;

e) Divers, non classés.

On voit, par cet énoncé, que nous avons fait aussi complet que possible, et qui, cependant, ne donne pour ainsi dire que les têtes des chapitres, combien le détail d'une exploitation de tramways électriques est compliqué.

Tous ces éléments sont réunis pour arriver à connaître exactement le prix de revient de la voiture par kilomètre, qui est le point capital de ce genre d'exploitation; en effet, connaissant ce prix et celui de la recette par voiture-kilomètre, l'on en déduit immédiatement le bénéfice brut. Dans ce qui va suivre, nous nous efforcerons de rechercher ce prix de revient.

Considérations sur l'établissement du prix de revient de la voiture-kilomètre. — L'établissement de ce prix peut être fait de différentes manières, et la diversité des éléments qui entrent dans ce prix fait que, bien souvent, ces prix ne sont pas *comparables* entre eux, en dehors des conditions spéciales suivant lesquelles ils ont été obtenus. Quoi qu'il en soit, en général, on peut ramener à deux

types les prix de la voiture-kilomètre : 1° ceux qui comprennent les frais de traction, proprement dits ; 2° ceux qui comprennent ces prix, augmentés des frais d'entretien général du matériel et des frais d'amortissement et d'intérêts du capital engagé, qui constituent les *charges fixes*.

Il est logique de ne considérer comme prix *exacts* que ceux qui se rapportent à ce dernier type, ceux-là pouvant seuls donner une valeur réelle des bénéfices obtenus quand on connaît les recettes totales ; de plus, il est alors possible de les comparer avec d'autres obtenus dans les mêmes conditions. Remarquons que, dans le prix total de la voiture-kilomètre, les prix qui se rapportent *aux charges fixes* sont toujours importants, surtout actuellement, où les concessions sont généralement de courte durée.

Pour en donner un exemple, prenons le prix moyen d'établissement (voie de roulement non comprise) d'une ligne ayant deux voitures par kilomètre de voie.

La dépense par kilomètre, dans ce cas, peut s'évaluer à 35.000 francs.

Le parcours de chaque voiture sera de 160 kilomètres par jour.

Si l'on amortit cette somme de 35.000 francs en quinze années, on aura annuellement, pour servir l'amortissement et l'intérêt à 5 pour cent, 10 pour cent du capital : soit une somme de 3.500 francs, ce qui fait par voiture-kilomètre :

$$\frac{3.500}{365 \times 160} = \frac{3.500}{58.400} \text{ 0 fr. 059,}$$

soit 6 centimes.

Ce prix de 6 centimes viendra donc toujours s'ajouter au prix auquel on pourra obtenir la traction proprement dite, dont le prix s'abaissera suivant les procédés de production plus ou moins perfectionnés.

On peut donc dire, d'une façon générale, que le prix total de la voiture-kilomètre se composera d'un élément fixe (amortissement et intérêts sur le capital engagé), et d'un élément variable (frais de traction et entretien), qui diminuera avec le perfectionnement des moyens de production et suivant la plus

ou moins bonne administration de la ligne considérée ; ce prix dépendra également du prix variable auquel on obtiendra les matières premières nécessaires.

Nous examinerons le prix de revient de la voiture-kilomètre dans les deux cas suivants :

A. — Prix de revient avec fil de travail *aérien ;*

B. — Prix de revient avec fil de travail *souterrain* (en caniveau).

Nous commencerons par donner les chiffres que l'on a obtenus en Amérique, où la traction électrique est si développée. Nous y trouverons des indications précieuses sur la manière de décomposer le prix de revient de la voiture-kilomètre. Puis, nous passerons en revue les différents prix que nous avons pu obtenir pour les pays d'Europe, c'est-à-dire en Allemagne, France, Angleterre, Suisse, Belgique, etc.

Nous donnerons tous les renseignements tels que nous avons pu nous les procurer ; mais, si quelques-uns sont incomplets, il faut se rappeler la *difficulté très grande* que l'on a, surtout en Europe, à obtenir les éléments nécessaires à l'établissement de ces prix, et le lecteur voudra bien tenir compte de cette difficulté pour excuser les lacunes qu'il pourra rencontrer dans l'établissement de ces prix.

Remarque. — Il arrive quelquefois que sur une ligne on fait deux services ; avec des voitures automobiles uniques et avec des voitures automobiles qui remorquent une voiture ordinaire. On donne souvent le prix global du prix de traction de cet ensemble qui devient un train et qu'on désigne alors sous le nom de prix du train-kilomètre. Il est utile de pouvoir attribuer à chaque partie les frais qu'elle occasionne, et on peut dire que le prix global P peut se partager proportionnellement au poids respectif des deux sortes de voitures. Comme moyenne, on prend généralement les deux tiers du prix global P, pour celui de la voiture automobile, l'autre tiers étant le prix incombant à la voiture remorquée.

Nous ferons, par la suite, quelques applications de cette manière de séparer les deux prix.

Prix de revient total de la voiture-kilomètre. — Comme nous le disions, il est assez difficile de connaître le prix de revient total de la voiture-kilomètre, car, si l'on connaît les frais de traction et d'entretien général, il n'est souvent pas commode de savoir au juste le prix de premier établissement de la ligne considérée et la durée de la concession qui sont les deux éléments principaux dont dépendent les charges fixes qui, ajoutées aux prix précédents, formeront le prix total cherché. Cependant, dans des conditions moyennes, comme nous le verrons dans les quelques exemples qui suivent, on peut obtenir, approximativement, ce prix *total*, *en augmentant d'un tiers* les prix obtenus pour la traction pure et l'entretien général.

A. — *Prix de revient de la voiture-kilomètre avec fil de travail aérien*

ÉTATS-UNIS

Dès l'année 1892, on connaissait, aux États-Unis, le prix de revient moyen de la traction électrique par fil aérien. M. Watson publia à cette époque les rapports de 22 Compagnies différentes. Il résulte de cet exposé que le prix *moyen* de revient de la voiture-kilomètre était de 34,34 centimes, le prix *maximum* était de 71,40 centimes, et le prix *minimum* de 24,20 centimes.

Le prix moyen de 34,34 centimes a été établi pour des réseaux de lignes, dont la longueur variait de 16 à 24 kilomètres avec 20 voitures électriques ou plus, en service régulier et journalier ; le parcours moyen journalier variait, pour chaque voiture, de 168 à 176 kilomètres. Toutes ces lignes ne présentaient que des rampes modérées.

Le prix de 34,34 centimes était le résultat d'exploitations très sérieusement conduites, et la répartition des dépenses était faite sous la dénomination des quatre chapitres suivants :

1° Production de la force motrice ;

2° Dépenses d'exploitation ;

3° Entretien général, qui comprenait : *a*) entretien de la

voie ; *b*) entretien du matériel moteur ; *c*) entretien du matériel roulant ;

4° Frais généraux.

Le détail de chaque chapitre est le suivant : les chiffres sont exprimés en centimes par kilomètre parcouru.

	Centimes.		Centimes.
1° PRODUCTION DE LA FORCE MOTRICE			
Combustible	2,78		
Huile, chiffons, eau, etc.	0,62		
Salaires des mécaniciens et chauffeurs	2,41		
Service des dynamos	0,66		6,47
2° DÉPENSES D'EXPLOITATION			
Salaires des receveurs et des wattmans	14,36		
— du personnel de la voie	0,95		
Nettoyage et inspection	0,86		
Huile, chiffons, etc.	0,38		
Accidents	0,21		
Divers	0,21		16,87
3° ENTRETIEN GÉNÉRAL			
A. — *Entretien de la voie*			
Entretien de la voie, du sol et du matériel	1,56		
— de la ligne aérienne	0,44	2,00	
B. — *Entretien du matériel moteur*			
Entretien et réparation des machines et chaudières	0,57		
Entretien et réparation des dynamos	0,31		
— — de divers	0,19	0,90	
C. — *Entretien du matériel roulant*			
Entretien et réparation des moteurs électriques	2,1		
Entretien et réparation des transmissions et trolleys	1,8		
Entretien et réparation des voitures	1,50	4,10	7,00
4° FRAIS GÉNÉRAUX			
Personnel des bureaux	2,4		
Frais de bureau	0,4		
Publicité et impressions	0,19		
Impôts et divers	0,19		
Assurances	0,50		
Divers	0,25		40
TOTAL DES PARAGRAPHES 1°, 2°, 3°, 4°			34,34

Le prix de la voiture-kilomètre tout compris, sauf l'intérêt et l'amortissement du capital engagé, est donc de 34,34 centimes.

Pour que ce prix représente exactement le *prix total* de la voiture-kilomètre, il faudrait y ajouter le chiffre représentant l'intérêt et l'amortissement du capital engagé dans ces diverses entreprises, mais il est pour ainsi dire impossible d'obtenir ce renseignement pour l'ensemble des 22 Compagnies considérées. Nous le ferons intervenir pour des cas plus particuliers qui nous fixeront à ce sujet.

Dans l'établissement de ces prix de revient, le charbon coûtait 5 francs la tonne pour les fines, 15 francs pour les tout-venants, et 19 francs pour la gailleterie.

La consommation de charbon par voiture-kilomètre a varié de $1^{kg},25$ à $3^{kg},4$ de menus. La consommation minima de charbon a été obtenue par l'emploi des chaudières tubulaires à retour de flammes (systèmes Murphy), qui vaporisaient $7^{kg},5$ d'eau par kilogramme de charbons menus et avec des moteurs à vapeur à grande vitesse à un seul cylindre, et sans condensation (moteur Armington et Sims). Notons ce fait en passant, car on refuse généralement d'attribuer une économie de marche aux machines à vapeur à grande vitesse.

Les voitures employées pesaient 10 tonnes, tout compris; elles étaient à doubles trucks et avaient une longueur de $4^{m},80$. Ces voitures absorbaient de 3,7 à 8,4 chevaux, aux moteurs électriques de la voiture; ce qui nécessitait de 6 à 10,7 chevaux, par voiture, au tableau de la station génératrice.

Ce prix de 34,3 centimes est un prix moyen. M. Badger a donné, d'après les mêmes statistiques, la dépense *maxima* et *minima* par voiture-kilomètre se rapportant à ces 22 lignes dont la longueur totale représentait 388 kilomètres de voie.

Le détail de ces prix, suivant les mêmes chapitres, est :

CHAPITRES	DÉPENSES EN CENTIMES		
	MAXIMA	MINIMA	MOYENNE
Entretien de la voie	5,92	3,20	1,59
— de la ligne électrique.	3,02	0,03	0,38
— du matériel de l'usine.	2,77	0,15	1,04
— des voitures et des moteurs..............	16,50	1,68	6,85
Charbon et personnel de l'usine.	15,53	1,43	5,65
Frais de traction...............	30,16	8,53	15,33
Frais généraux.................	9,30	2,51	4,00
TOTAUX............	83,20	18,03	34,34

Dans l'établissement de ces prix le salaire des conducteurs variait de 0 fr. 50 à 1 franc l'heure, et le prix du combustible variait suivant les prix indiqués plus haut.

MM. Crossby et Bell ont donné la dépense mensuelle de la East Harrisburg Street-Railway C°. Pour le mois de septembre 1891, on a eu :

Charbon, à 10 fr. 50 la tonne......	1.205 fr. 60
Huile pour dynamo...............	27 75
Huile pour cylindres	29 »
Déchets..........................	19 05
Ingénieurs, mécaniciens et chauffeurs	1.033 15
Divers...........................	106 20
Total................	2.420 fr. 65

Le nombre de voitures en circulation était de 18, qui ont parcouru ensemble 100.850 kilomètres, soit une moyenne par voiture et par jour de 182 kilomètres.

Les *frais de traction proprement dits*, de la voiture-kilomètre, ressortent donc, dans ce cas, à :

$$\frac{2.420,65}{100.850} = 2,35 \text{ centimes.}$$

Au mois de février 1892, le président de la Federal Street and Pleasant Valley Passenger Railway C°, de Pittsburg, a

communiqué un rapport contenant le résumé de l'exploitation des six derniers mois. Nous en extrayons les renseignements suivants :

En six mois (juillet à décembre 1892), cette Compagnie a transporté 3.370.531 voyageurs, et la recette totale a été de 851.133 francs.

Il y avait 31 voitures en circulation ; elles ont fait chacune, en moyenne, par jour 173 kilomètres : le nombre total des kilomètres parcourus *par jour* a été de 5.357.

Dans ces conditions, le coût de la voiture-kilomètre a été de 63,31 centimes et se décompose comme suit :

Receveurs et conducteurs-mécaniciens...	21,25	centimes.
Réparations aux moteurs électriques.....	5,25	—
— au matériel à vapeur........	3,56	—
Production de l'énergie (charbon)........	4,81	—
— (huile, etc.)......	1,53	—
Entretien de la voie.....................	3,38	—
Dépenses diverses......................	2,75	—
Remises..............................	1,52	—
Appointements et salaires................	2,52	—
Intérêts...............................	8,47	—
Péages................................	0,58	—
Main-d'œuvre, diverses..................	7,59	—
Total................	63,31	centimes.

La recette était de 86,10 centimes, soit, comme bénéfice net, 21,79 centimes par voiture-kilomètre.

La même année (1892), M. Beckley, président de la Rochester Railway C°, a communiqué à l'Association des Tramways de New-York le résultat de l'exploitation de cette Compagnie.

Le type de voitures employé est à couloir ; la longueur est de 13^{m},50.

La recette, pendant le mois de mai, a été de 185.265 francs, avec 256.890 voitures-kilomètre, soit 84,4 centimes de recette par voiture-kilomètre.

Le total des dépenses a été de 91.660 francs, le bénéfice net de 93.605 francs. Dans ces conditions les dépenses par voiture-kilomètre étaient de 35,6 centimes, et le bénéfice

48,8 centimes. Le coût des dépenses se répartissait ainsi :

Production de l'énergie.................	9,37 centimes
Réparation aux voitures................	2,18 —
Receveurs et conducteurs-mécaniciens ..	15,21 —
Autres dépenses........................	8,51 —
Total	35,60 centimes

Disons, en passant, qu'avant sa transformation cette Compagnie avait 62 tramways à chevaux, et qu'avec ce système la dépense par voiture-kilomètre était de 32 centimes, et la recette de 37 centimes, soit un bénéfice de 5 centimes.

L'excédent des recettes sur les dépenses était, dans le cas de la traction électrique, de 138 pour cent, tandis qu'il n'était que de 13 pour cent dans celui de la traction animale, soit dix fois moins élevé environ. Cette importante plus-value est en grande partie due à l'augmentation du trafic qui résulte de la substitution du nouveau mode de traction à l'ancien, et on voit quel profit en retirent les actionnaires.

Tramways de Washington. — Nous donnons, plus loin, le trafic de ces lignes pendant les mois d'octobre, novembre et décembre.

Le prix de revient de la voiture-kilomètre que nous donnons ci-après est déduit des frais d'exploitation pendant le mois de décembre.

CHAPITRES	DÉPENSES	
	TOTALES en francs	PAR VOITURE-KILOMÈTRE en centimes
Service administratif..................	2.200	2,4
Service des voitures...................	14.037	15,6
Réparations aux voitures et à l'équipement............................	3.740	4,15
Force motrice..........................	2.870	3,2
Entretien de la voie, y compris les rails et le trolley........................	2.487	2,76
Frais d'éclairage......................	232	0,26
Entretien des bâtiments	80	0,09
Dépenses diverses......................	278	0,3
Total des dépenses du mois de décembre	25.924	28,76

La moyenne du nombre des voitures-kilomètres a été pendant ce mois de 90.000, ce qui fait ressortir le prix de la voiture-kilomètre à 28,76 centimes.

Tramways de Kansas-City. — La longueur de ce réseau est de 32 kilomètres; les voitures en circulation ont 9 mètres de longueur; elles sont à double truck avec un moteur de 30 chevaux sur chaque truck.

Le prix de la voiture-kilomètre, pour une période d'exploitation de dix mois, se décompose de la façon suivante :

Dépenses générales	5,80	centimes
Salaire des conducteurs et mécaniciens	14,45	—
Dépenses aux dépôts de voitures	2,00	—
Force motrice de traction	7,15	—
Autres dépenses de traction	2,53	—
Réparations des voitures	1,12	—
— des moteurs	2,47	—
— à la station centrale	0,62	—
— diverses	0,12	—
Entretien de la voie	2,53	—
— des bâtiments	0,19	—
Taxes	1,12	—
Dépenses diverses	0,87	—
Prix de la voiture-kilomètre	40,97	centimes

Soit 41 centimes, le prix de revient de la voiture-kilomètre. Ce prix est comparable à celui obtenu sur le réseau de Boston, et il est comparable à ceux obtenus précédemment, si l'on tient compte de la grande longueur des voitures qui augmente le poids mort à remorquer et la puissance des moteurs. Pour démontrer l'influence de ce facteur, nous donnons le prix obtenu, avec des voitures de 5 mètres de longueur, sur une ligne comparable; dans ce cas, le coût de la voiture-kilomètre en centimes se répartit ainsi :

Receveurs et conducteurs-mécaniciens	14,09	centimes
Force motrice	4,29	—
Réparation aux moteurs électriques de la voiture	3,12	—
Réparation de la ligne	1,52	—
Réparation aux voitures et aux trucks	2,25	—
Entretien de la voie	3,37	—
Dépenses diverses	5,25	—
Accidents	1,51	—
Total des prix	35,40	centimes

Ce prix, obtenu avec du matériel normal et dans des conditions moyennes de marche, est tout à fait comparable aux prix moyens précédents, obtenus sur les vingt-deux lignes considérées par MM. Watson et Badger.

Détail du prix de revient de la voiture-kilomètre en Amérique. — Pour donner une idée plus complète de la façon détaillée dont peut se décomposer le prix global du prix de la voiture-kilomètre, nous donnons les deux tableaux suivants.

Le tableau A donne le décompte du prix de la voiture-kilomètre pour 12 lignes établies dans l'Etat de Massachusetts (Etats-Unis).

Comme on connaît le total des voitures-kilomètres parcourus, on peut se rendre compte facilement du chiffre que l'on doit attribuer à chaque chapitre par voiture-kilomètre. Ces chiffres se rapportent aux dépenses d'une année (1er octobre 1892 au 30 septembre 1893).

On voit que le prix global de la voiture-kilomètre y est très variable : de 28,41 centimes à 119,43 centimes; il est facile, d'après ce tableau, de déduire quelles sont les raisons qui peuvent expliquer ces écarts considérables.

Le tableau B donne les diverses dépenses faites sur les lignes de la West End Railway C° de Boston, pendant le mois d'avril 1894. Le prix de la voiture-kilomètre est à peu près constant, il varie de 11,38 centimes à 13,64 centimes. On remarquera un élément important donné dans ce tableau : c'est la recette par kilomètre parcouru, qui varie de 0 fr. 977 à 1 fr. 326.

TABLEAU A

FRAIS D'EXPLOITATION DES LIGNES DE TRAMWAYS ÉLECTRIQUES DE L'ÉTAT DE MASSACHUSSETS

du 1er octobre 1892 au 30 septembre 1893

	DÉSIGNATION DES COMPAGNIES											
	ATTLEBOROUGH et WRENTHAM	BROCKTON et HOLBROOK	CLINTON	HOSAC VALLEY	SALL	MARLBOROUGH	MILFORD et HOPEDALE	NATICK ELECTRIC	NEWTONVILLE et WATERTOWN	PLYMOUTH et KINGSTON	WORCESTER et MILLBURY	WORCESTER et SHREWSBURY
Frais généraux.	Fr.	Fr.	Fr.	Fr.	Fr.	Fr.	Fr.	Fr.	Fr.	Fr.	Fr.	Fr.
Salaires	9 335	1 850	82	14 200	1 680	11 689	1 840	4 814	»	9 166	14 528	»
Dépenses de bureaux	3 167	594	463	3 027	281	1 818	823	1 178	371	2 727	4 353	439
Dépenses légales	500	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	250
Assurance	4 279	600	610	3 195	1 740	465	1 493	2 891	»	4 176	5 207	1 460
Loyers, etc.	180	»	280	»	»	125	»	»	770	»	400	»
Loyers payés à d'autres Compagnies	»	13 944	»	»	»	»	»	»	»	»	»	213
Divers	198	»	»	»	»	»	»	»	309	2 404	»	»
Total des frais généraux.	**17 659**	**16 988**	**1 435**	**20 432**	**3 701**	**14 097**	**4 160**	**8 883**	**1 450**	**18 473**	**24 488**	**2 362**

Dépenses d'exploitation.												
Réparation de la plate-forme et de la voie...	9 206	560	»	2 205	201	1 069	2 525	739	»	7 856	10 167	422
Réparation des conducteurs électriques.....	780	675	»	»	»	1	»	893	35	21	802	165
Enlèvement des neiges.	4 511	1 840	»	2 889	»	1 980	2 003	6 588	»	2 444	12 571	»
Réparation des bâtiments...............	79	»	»	425	131	»	1 171	272	»	372	87	»
Réparation des voitures.	30 056	940	»	3 600	231	1 688	3 794	4 107	57	4 628	5 244	»
— de l'équipement électrique	20 632	1 196	»	14 090	224	1 711	»	2 629	127	5 313	12 247	»
Production du courant.	61 575	8 570	2 645	21 900	6 489	15 316	8 869	25 253	1 950	22 059	39 149	»
Appointements........	32 567	18 094	2 114	23 720	4 436	38 110	20 196	51 702	3 462	34 141	63 570	9 125
Accidents aux personnes et aux choses........	1 001	959	»	1 330	»	»	657	604	»	»	»	»
Divers...............	6 867	»	»	5 274	615	1 153	5 034	1 467	»	»	689	»
Total des frais d'exploitation................	**187 294**	**32 834**	**4 759**	**82 433**	**13 327**	**61 078**	**44 049**	**94 254**	**5 631**	**77 334**	**144 526**	**9 712**
Total général........	**204 953**	**49 822**	**6 194**	**102 865**	**16 028**	**75 175**	**48 209**	**103 137**	**7 081**	**93 807**	**169 014**	**12 074**
Taxes................	7 007	160	»	1 142	783	1 711	886	4 634	»	4 184	1 376	»
Voyages aller et retour	14 703	3 768	1 381	9 348	9 600	19 823	5 394	16 937	2 692	7 832	13 294	26 424
Kilomètres-voitures parcourus	243 120	103 134	5 186	180 491	30 893	200 670	47 160	218 020	14 296	174 296	272 743	42 516
Voyageurs transportés..	559 679	272 635	175 128	513 290	109 472	470 787	130 699	537 100	30 542	574 660	953 390	117 782
Frais totaux par voiture-kilomètre en centimes.	**84,30**	**48,30**	**119.43**	**56,99**	**51,88**	**37,46**	**102,22**	**47,30**	**49,53**	**54,97**	**61,60**	**28,41**
Longueur des lignes exploitées en kilomètres.	16,90	»	3,86	9,58	3,22	5,94	10,46	9,65	3,45	14,08	11,97	1,062
Nombre de voitures	17	8	2	13	8	9	6	12	3	12	16	2
— de moteurs....	9	4	1	6	4	10	6	18	2	8	10	4

TABLEAU B

FRAIS D'EXPLOITATION SUR LES LIGNES DE LA WEST END RAILWAY COMPANY, DE BOSTON
pendant le mois d'avril 1894

DÉSIGNATION DES CHAPITRES	Div.	Div. 2	Div. 3	Div. 5	Div. 6	Div. 7	Div. 9	TOTAL	PRIX par KILOM. MOYENNE en centimes
Voitures-kilomètres	530 711	330 159	203 571	203 304	284 244	387 529	148 721	2 088 239	
Entretien du matériel électrique									
Machines à vapeur et chaudières	3 399	2 114	1 304	1 303	1 826	2 482	952	13 375	0,64
Dynamos	2 130	1 325	817	816	1 141	1 556	597	8 382	0,40
Feeders	617	420	237	237	331	450	173	2 465	0,11
Entretien de la ligne et du matériel roulant									
Poteaux	1 454	904	558	567	779	1 062	407	5 721	0,27
Lignes aériennes	5 430	3 378	2 084	2 080	2 908	3 966	1 522	21 369	1,04
Lignes de retour et rails	750	468	288	287	402	548	210	2 953	0,14
Lampes électriques	201	133	17	89	173	333	47	993	0,05
Moteurs, armatures et inducteurs	5 435	2 472	2 042	2 122	3 607	5 889	1 283	22 850	1,09
— engrenages	3 244	2 413	822	887	1 204	854	548	9 972	0,47
— divers	7 033	6 555	2 157	3 727	5 893	5 429	2 734	33 528	1,60
Controlleurs et rhéostats	13 022	5 474	1 568	3 378	4 189	4 415	1 627	33 673	1,61
Trolleys	1 163	588	322	213	766	562	208	5 822	0,18
Production du courant									
Dépenses générales	218	136	83	82	117	159	61	856	0,04
Main-d'œuvre	11 905	7 407	4 568	4 563	6 377	8 696	3 334	46 850	2,28
Combustible	14 359	8 934	5 509	5 504	7 691	14 488	4 023	60 508	2,89
Divers	2 036	1 267	781	780	1 090	1 487	370	8 011	0,38
Total en francs	72 396	45 988	23 157	26 626	38 489	52 376	18 296	275 328	13,19
Prix par voiture-kilomètre en centimes	**13,64**	**13,32**	**11.38**	**13,09**	**13,54**	**13,51**	**12,30**	**13,19**	
Recette des voitures-électriques en fr.	629 440	438 041	211 913	246 115	303 162	419 929	145 416	2 390 416	
Recette par voiture-kilomètre en fr.	1 186	1 326	1 010	1 210	1 067	1 083	0 977	1 146	1,128

On peut donc résumer ainsi ces dépenses détaillées dans les trois chapitres suivants qui donnent les chiffres moyens :

A. — Entretien du matériel électrique fixe....	1,15	centimes
B. — Entretien de la ligne des voitures et de leur équipement électrique	6,45	—
C. — Production du courant : force motrice ...	5,59	—
Total............	13,19	centimes

Si l'on ajoutait à ce prix celui du conducteur-mécanicien, soit 5 à 7 centimes par voiture-kilomètre, l'entretien de la voie proprement dite et les taxes diverses, on arriverait à avoir le prix moyen de 25 à 28 centimes.

En supposant que les charges d'intérêts et d'amortissement du capital engagé doublent le chiffre du prix de revient de la voiture-kilomètre, ce qui donnerait, comme chiffre fort, 56 centimes, soit, avec l'imprévu, 60 centimes. On peut donc évaluer approximativement le bénéfice net obtenu par voiture-kilomètre, puisque l'on a la recette correspondante.

Dans ce cas, le bénéfice serait de 53 centimes par voiture-kilomètre, soit un bénéfice net de 47 pour cent des recettes totales. Ce chiffre montre le succès obtenu par la traction électrique : il importe de dire cependant que le réseau de Boston est l'un des meilleurs et surtout le mieux exploité des réseaux américains.

Les Compagnies américaines qui construisent le matériel électrique destiné à la traction et qui font elles-mêmes de l'exploitation temporaire avec ce matériel, soit à titre de garantie, donnée pour une période de quelques années, soit à titre de concessionnaire, donnent les prix moyens suivants comme prix de revient de la voiture-kilomètre dans les conditions ordinaires.

La General Electric Company a publié tout dernièrement une brochure où elle détaille le prix de revient de la voiture-kilomètre de la façon suivante :

Frais généraux........................	5,8	centimes
Frais de traction......................	19,0	—
Entretien de la voie et des bâtiments....	5,8	—
— du matériel..................	6,7	—
	37,3	centimes

Ce prix se rapporterait à une ligne à simple voie de 16 kilomètres de longueur, avec 12 voitures motrices. Dans ces conditions, les frais de premier établissement auraient été :

	PRIX EN FRANCS	
	TOTAL	PAR KILOM.
Voie..........	518.000	32.375
Station centrale et matériel roulant..........	310.000	19.375
Pavage (1/10 de la voie pavée avec pavés de granit)...................................	36.000	2.250
Total.........	864.000	54.000

Remarquons que le prix de premier établissement indiqué par kilomètre de voie est relativement *faible* et qu'il est à peu près la moitié de ce qu'il coûte en moyenne, surtout quand la voie est pavée.

La Edison General Electric C° donne également dans une brochure les résultats obtenus par elle sur différentes lignes. Son compte rendu porte sur 7 lignes exploitées par la traction électrique, et le tableau suivant donne le détail des chiffres les plus intéressants.

LONGUEURS (en kilomètres)		NOMBRE DE		Dépense moyenne par jour d'une voiture, en francs	NOMBRE DE VOYAGEURS		DÉPENSE D'EXPLOITATION (en centimes)		Dépense par voyageur transporté, en centimes
de voie	de ligne	Voyageurs transportés par kilomètre de voie	Voitures en service par jour		transportés par voiture et par jour	transportés par voiture-kilomètre	par voiture-kilomètre	par journée de voiture	
13,6	8,0	287.500	20	2,63	318	2,38	36,99	30,57	9,45
25,6	16,0	524.385	16	3.98	343	1,70	26,39	52,80	9,38
81,6	56,0	401.547	50	3,18	343	1,95	38,40	38,40	12,16
64,0	31,2	304.738	140	2,90	188	1,28	24,41	22,15	11,83
24,8	22,4	104.687	18	3,37	357	2,09	34,43	36,50	10,23
44,8	37,6	154.289	31	4,43	597	3,44	38,85	42,54	10,33
6,0	4,5	125.000	5	2,93	307	2,08	26,57	24,35	6,31
TOTAUX OU MOYENNES									
260,48	17,57	125.439	280	3,21	346	2,13	30,73	32,55	10,23

Comme on le voit, la dépense moyenne de la voiture-kilomètre est de 31 centimes en chiffres ronds. Ce résultat concorde avec ceux obtenus sur d'autres lignes américaines, comme nous l'avons vu.

Pour ce qui concerne les frais de premier établissement, la moyenne donnée par la Edison General Electric C° est de 84.000 francs par kilomètre, sans compter les terrains, bâtiments ni garages; elle estime, de plus, que, pour un trafic moyen, le nombre de voitures nécessaires *par kilomètre de voie simple* est de 1,3.

Les tramways de Cincinnati et ceux de New-York, exploités par la Compagnie Edison, ont donné un prix de voiture-kilomètre, où les frais de traction se décomposent comme suit :

	CINCINNATI	NEW-YORK
	centimes	centimes
Entretien de la ligne et de l'usine..........	0,4	1,5
» du matériel roulant...........	4,4	6,1
Force motrice..............................	10,2	6,6
Personnel de conduite.....................	7,2	6,7
Total....................	22,2	20,9

Si l'on compare ces prix avec ceux obtenus en Europe, on voit qu'ils sont presque identiques ; c'est ainsi qu'en prenant les mêmes chapitres on trouve pour Vevey-Montreux, Clermont-Ferrand et Budapest les prix suivants :

	VEVEY-MONTREUX	CLERMONT-FERRAND	BUDAPEST
	centimes	centimes	centimes
Entretien de la ligne et de l'usine.....	0,9	1,2	0,9
» du matériel roulant.........	5,7	4,4	7,2
Force motrice......................	7,6	10,2	7,0
Personnel de conduite...............	6,2	8,2	4,6
Total................	20,4	24,0	19,8

Le chiffre obtenu pour Budapest est remarquable, car, l'exploitation se faisant par caniveau souterrain, il ne semble

pas, comme on l'a souvent dit, que l'entretien en soit coûteux.

Si l'on cherche à décomposer le prix de revient de la voiture-kilomètre, on peut répartir les dépenses de la façon suivante, se rapportant à 7 lignes de tramways, dans lesquelles ce prix varie de 26 à 59 centimes. Ces chiffres résultent de statistiques américaines; ils sont exprimés en centimes par voiture-kilomètre.

DÉPENSES D'EXPLOITATION	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5	N° 6	N° 7
Entretien de la voie.....	2,45	1,02	2,63	0,84	1,77	6,77	3,81
» du matériel...	2,11	5,18	3,75	4,93	6,94	4,68	6,45
Frais de traction.......	15,13	15,13	17,24	20,21	16,68	34,04	23,56
Force motrice..........	2,82	4,12	3,47	5,00	6,76	7,53	5,60
Dépenses générales.....	3,18	4,10	4,90	6,82	6,60	5,92	7,44
Total............	25,69	29,55	31,99	37,80	38,75	58,94	46,86
Rapport des dépenses aux recettes en pour cent.	52	56	50	60	67	48	61

Répartition des dépenses suivant les différents chapitres. — Étant donnée une dépense totale d'exploitation, on peut se demander quel pourcentage de ces dépenses doit être appliqué aux différents chapitres principaux que comporte l'exploitation, c'est-à-dire les dépenses afférentes à la voie, au matériel, à la traction proprement dite, au personnel et aux frais divers.

MM. Hedges et Fairchild ont chacun donné une évaluation de ce pourcentage, et cela pour des exploitations pratiques. Nous donnerons les chiffres se rapportant aux lignes de New-York et de l'Etat de Massachusetts.

	VOIE	MATÉRIEL	TRACTION	PERSONNEL	FRAIS DIVERS
Chiffres donnés par M. Hedges..	10,7	12,9	24,8	44,3	7,3
» M. Fairchild	12,4	17,2	21,0	40,0	9,4
» les lignes de New-York..................	6,6	11,5	18,8	54,1	9,0
Chiffres donnés par les lignes de Massachusetts..............	7,8	11,2	21,7	45,0	14,3
Moyenne en pour cent.........	9,05	13,2	19,07	45,85	10,0

Comme comparaison, il est intéressant de mettre en regard les chiffres correspondant aux mêmes chapitres, obtenus sur la ligne de Lyon à Oullins (1894). On a :

VOIE	MATÉRIEL	TRACTION	PERSONNEL	FRAIS DIVERS
—	—	—	—	—
2,5	2,5	23	47	25

On voit que les chiffres se rapportant à la voie et au matériel sont bien inférieurs ; la raison en est peut-être que les voies sont mieux établies en France qu'en Amérique ; la compensation est faite par ceux des frais divers. Les chiffres se rapportant aux chapitres *Traction* et *Personnel* sont comparables aux chiffres américains.

ALLEMAGNE

Prix de revient de la voiture-kilomètre, à Francfort-Offenbach (aérien). — Pendant l'exercice 1889-1890, le prix de la voiture-kilomètre s'est décomposé comme suit. Pour donner une idée de l'économie qui est résultée de la substitution de la traction électrique à la traction animale, nous donnons en regard les chiffres qui étaient obtenus précédemment avec les chevaux.

	TRACTION ÉLECTRIQUE	TRACTION ANIMALE
	centimes	centimes
Chauffage et éclairage	3,12	0,62
Appointements et salaires	11,88	16,38
Entretien des machines et voitures	3,75	23,75
Entretien de la voie et des bâtiments	1,88	6,75
Impôts et contributions	0,37	3,00
Divers	13,37	5,00
Amortissement et intérêts	5,63	3,50
Prix total de la voiture-kilomètre en centimes	30,00	58,80

Ce prix de 30 centimes est un prix total ; il comprend l'amortissement et l'intérêt du capital engagé. Il y a sur cette ligne 10 voitures automobiles et 6 voitures remorquées.

Tramways de Hambourg. — Le réseau exploité par la Société des Tramways de Hambourg est l'un des plus importants d'Europe ; sa longueur est de 140 kilomètres ; le capital de construction a été 13.650.000 francs, ainsi répartis :

Installation électrique..............	6.850.000 fr.
Lignes............................	6.800.000
Capital de construction.............	13.650.000 fr.

Le prix de revient total de la voiture-kilomètre, en 1895, a été de 15,21 centimes, répartis comme suit :

Frais de traction proprement dits....	10,96 centimes
Amortissement.....................	2,50
Intérêts du capital..................	1,75
	15,21 centimes

Le nombre de voitures-kilomètres avait été de 8.020.000. Nous donnons, plus loin, au chapitre II de cette partie, quelques renseignements complémentaires sur les résultats obtenus à Hambourg. Il y a en circulation 250 voitures automobiles et remorquées ; les automobiles ont un seul moteur de 18 chevaux.

Tramways de Halle. — Ce prix de revient ne comprend pas les charges fixes d'amortissement et d'intérêt ; il se décompose comme suit :

Service de la station centrale...........	5,096 centimes
Service de la voie et de la canalisation..	1,246
Entretien et réparation des voitures....	7,922
Divers..............................	3,690
Total..............	17,954 centimes

Ce prix a été obtenu, pendant l'exercice 1892-1893, avec un nombre total de voitures-kilomètres égal à 1.112.013, dont 1.098.782 pour les voitures motrices, et 13.231 pour les voitures remorquées. Ces tramways ont transporté

2.753.760 voyageurs, soit 2,5 voyageurs par voiture-kilomètre en service. La recette par voiture-kilomètre a été 29,8 centimes ; le bénéfice a donc été de :

$$29,8 - 17,95 = 11,85 \text{ centimes.}$$

La recette totale, pendant l'exercice 1892, avait été de 259.820 francs ; pendant celui de 1893, elle a été de 388.515 francs, d'où une augmentation de 128.695 francs, soit une recette supplémentaire de 30 pour cent.

La puissance de la station génératrice est de 120 kilowatts, avec deux machines de 200 chevaux à 180 tours par minute commandant deux dynamos de 60 kilowatts, sous 500 volts (120 ampères) à 520 tours par minute.

Prix obtenus sur diverses autres lignes. — En Allemagne, le prix de la voiture-kilomètre a été, dans les villes suivantes, de :

Bremen........	10,12	centimes	(frais de traction seuls)
Erfurt	88,5	—	(charges fixes comprises)
Gotha..........	13,26	—	(frais de traction seuls)
Lichterfeld.....	29,50	—	(charges fixes comprises)
Remscheid.....	17,4	—	(frais de traction seuls)

La longueur de la ligne d'Erfurt est de $10^{km},5$, avec des rampes atteignant 6 pour cent ; il y a en circulation 29 voitures à un seul moteur.

La ligne de Gotha a $2^{km},6$ de longueur, avec des rampes de 4 pour cent ; il y a 5 voitures en circulation.

La ligne de Lichterfeld a $3^{km},6$ de longueur ; elle possède 4 voitures en circulation, qui ont fait, en 1892, 100.800 voitures-kilomètres.

La ligne de Remsheid, de $8^{km},6$ de longueur, est particulièrement accidentée : on y trouve des rampes de 15 pour cent ; elle a 22 voitures, avec chacune 2 moteurs de 11 chevaux.

ANGLETERRE

Prix de revient de la voiture-kilomètre des tramways de South-Straffordshire. — M. E. Gerard a publié dernièrement des chiffres, sur le prix de revient, qui établissent, avec détails, le prix de la voiture-kilomètre.

1° A la station centrale, l'on avait les dépenses suivantes, rapportées à la voiture-kilomètre, qui constituent la production de la force motrice :

Salaires........	2,80
Charbon.......	3,19
Graissage......	1,02
Eau et divers...	0,37
	7,38 centimes

2° Les frais se rapportant à la traction proprement dite se décomposaient comme suit :

Salaires........	9,70
Graissage......	1,74
Eau et divers...	0,06
	11,50 centimes

3° L'entretien général se décomposait de la manière suivante :

Usure....... ..	0,0927
Ligne..........	2,126
Eau et divers...	4,757
	6,97 centimes.

4° Les assurances, taxes, surveillance et impôts, donnent le chiffre moyen de 3,56 centimes par voiture-kilomètre.

Au total, on trouve que le prix de revient de la voiture-kilomètre montait à 29,41 centimes, répartis suivant les quatre chapitres :

a) Force motrice et main-d'œuvre..........	7,38
b) Frais de traction........................	11,50
c) Entretien général.......................	6,97
d) Taxes et impôts.........................	3,56
	29,41 centimes

M. E. Gerard a indiqué, de plus, quels ont été les frais de premier établissement :

	PRIX	
	Total.	Par kilom.
Station centrale, comprenant les bâtiments, chaudières, machines et dynamos.......	295.250	23.060
Ligne comprenant : poteaux, fil de trolley, feeders et le raccordement électrique des rails..................................	206.250	16.113
Équipement de 16 voitures de 40 places.....	240.000	18.727
Coût total de l'installation.....	741.250	57.900

La longueur de la ligne était de $12^{km},8$. En l'année 1893, le nombre de voitures-kilomètres parcourues a été de 422.661, et le nombre de voyageurs transportés de 1.668.057, ce qui donne, en moyenne, 4 voyageurs transportés par voiture-kilomètre annuelle parcourue. Si l'on cherche quel serait le prix total de la voiture-kilomètre, en ajoutant, au prix indiqué plus haut, celui se rapportant aux charges fixes, on aurait, en supposant un amortissement en quinze années, une charge de 17 centimes.

Soit *un prix total* de la voiture-kilomètre de :

$$29,41 + 17 = 46,41 \text{ centimes.}$$

Disons, en passant, quela puissance de la station centrale est de 200 kilowatts et comporte 2 machines Corliss compounds à condensation de 125 chevaux à 100 tours, commandant 2 dynamos Ellwell-Parker de 90 kilowatts, sous 250 volts (260 ampères) et à 450 tours par minute.

Les voitures pèsent à vide 6.850 kilogrammes ; elles sont à boggies et à 2 moteurs de 15 chevaux.

Tramways de Birmingham. — Sur le réseau de Birmingham, on est conduit au prix de la voiture-kilomètre de 50,21. Ce prix se décompose de la façon suivante :

Salaires............................	14,13	centimes
Charbon............................	8,97	—
Eau................................	0,34	—
Réparations diverses..................	4,93	—
— aux voitures.............	10,05	—
Frais de traction.....................	7,36	—
Entretien de la voie, des bâtiments....	0,87	—
Frais généraux......................	3,56	—
	50,21	centimes

Ce prix est relativement élevé, car il ne comprend que les frais de traction et l'entretien général : les chiffres se rapportant aux salaires et aux réparations sont élevés. Ce prix a été obtenu avec un trafic de 223.115 voitures-kilomètres et 1.444.718 voyageurs transportés.

Le nombre de voyageurs transportés par voiture-kilomètre a donc été de 5,16 en moyenne. La recette par voiture-kilomètre a été de 63,5 centimes.

Le coefficient d'exploitation est de 79 pour cent.

Prix obtenus sur diverses lignes. — En Angleterre, l'on a obtenu sur les lignes suivantes le prix de :

Guernesey	39	centimes
Liverpool	28,6	—
Besbrook-Newry	25	—

A Liverpool, la ligne a 10 kilomètres de longueur avec des rampes maxima de 3,3 pour cent et 40 voitures automobiles, ayant un seul moteur de 24 chevaux. Chaque voiture a 56 places.

FRANCE

Prix de revient de la voiture-kilomètre à Oullins (Lyon). — Cette installation a coûté, comme prix de premier établissement, 650.000 francs (voies de roulement non comprises).

L'amortissement du prix de ce matériel doit être fait en vingt ans et doit porter sur les 80 pour cent de la valeur indiquée, soit sur $650.000 \times 0,8 = 520.000$ francs.

Ces données préliminaires vont nous permettre de calculer le prix *total moyen* de la voiture-kilomètre.

Nous considérerons pour cela la dépense minima et maxima, l'une obtenue le vendredi, l'autre le dimanche, avec 12 voitures automobiles en service régulier.

Pour une marche de vingt heures, on a eu les dépenses suivantes :

			Dépenses en francs	
			Minima	Maxima
Force motrice	Charbon { 2.000 kilogs minimum / 2.400 — maximum } à 20 fr. la tonne		40	48
	Huile pour machines et dynamos..........		8	10
	Chiffons et matières diverses		3	4
	Huile pour les voitures et moteurs électriques		3	4
Main-d'œuvre totale	Un contremaître..................	7,00		
	2 chauffeurs......................	11,50		
	2 mécaniciens....................	9,50		
	1 chef électricien.................	15,00	112,50	112,50
	2 électriciens......................	10,00		
	1 aide............................	4,50		
	12 conducteurs-mécaniciens........	55,00		
	Total des frais de traction.		166,50	178,50
	Voitures-kilomètres parcourues............		1434	1885
	Moyenne		1650	
	Prix de traction de la voiture-kilomètre....		0,116	0,10
	Moyenne		0,103	

Les frais de traction proprement dits ont donc été de 10,3 centimes par voiture-kilomètre. Ce prix doit être majoré de 20 pour cent, soit 2,2 centimes pour tenir compte des dépenses supplémentaires pour le service d'hiver. Les frais de traction proprement dits ressortent donc à 13 centimes. A ce prix il faut ajouter :

1° Les frais d'entretien du matériel : ils ont été évalués à 5 pour cent de la recette, qui est de 41 francs par voiture-kilomètre, soit, de ce chef, 0 fr. 05 par voiture-kilomètre parcourue ;

2° L'intérêt du capital engagé à 4 pour cent l'an :

$$\frac{650.000 \times 0,04}{1.650 \times 305} = 0,045,$$

soit 0 fr. 045 par voiture-kilomètre ;

3° L'amortissement sur la somme de 520.000 francs en vingt ans, ce qui donne :

$$\frac{520.000}{20 \times 600.000} = 0,045.$$

De sorte que le *prix de revient total* de la voiture-kilomètre peut se résumer ainsi :

Frais de traction	10,8	centimes
Dépenses supplémentaires	2,2	—
Entretien du matériel en général	5,0	—
Intérêts du capital	4,5	—
Amortissement de ce capital	4,5	—
Prix total de la voiture-kilomètre	27,0	centimes

On voit qu'au point de vue général, frais de traction et charges fixes, ce prix peut être comparé aux meilleurs prix obtenus en Amérique : les frais de traction proprement dits, 13 centimes, étant ceux obtenus sur les lignes de Boston, considérées, à juste titre comme les meilleures et les mieux exploitées.

Ce résultat, l'un des premiers en date obtenu en France, est donc très encourageant et démontre que les applications de la traction électrique, dans notre pays, seront aussi productives que celles faites à l'Etranger.

Tramways de Dijon. — Le prix de revient total de la voiture-kilomètre a été, y compris les charges fixes, de 28,20 centimes, avec 121.210 voitures-kilomètres.

Ce prix se décompose de la façon suivante :

Force motrice	6	centimes
Salaires et divers	11	—
Entretien général	5,2	—
Amortissement et intérêts	6	—
	28,20	centimes

La recette moyenne a été de 49,38 centimes, soit un bénéfice de 23,18 centimes par voiture-kilomètre.

Tramways du Havre. — Cette installation, la plus importante actuellement en France, a été faite en 1894-1895.

Pour l'exercice 1895-1896 le *prix de revient total* de la voiture-kilomètre s'est ainsi réparti :

Force motrice.................... Salaires des conducteurs et frais de traction........................	24,4	centimes
Entretien de la voie................	1,95	—
Frais généraux et divers............	11,35	—
Salaires des receveurs et divers.....	7,95	—
Prix total en centimes.....	45,65	centimes

Prix obtenus sur diverses lignes. — Nous avons pu savoir que le prix *moyen de traction* de la voiture-kilomètre, y compris le wattman, sur les lignes suivantes, était de :

Tramways de Clermont-Ferrand...	24	centimes	
— du Havre..............	24,4	—	
— de Marseille...........	26 à 28	—	
— du Raincy à Montfermeil	21	—	avec charges fixes.
— de Roubaix-Tourcoing..	16	—	— —
— du Bouscat-Bordeaux...	19	—	

Nous donnons ces chiffres sous toutes réserves, à titre indicatif, car ils ne résultent pas de documents officiels.

SUISSE

Prix de revient de la voiture-kilomètre des tramways de Vevey-Montreux. — Le tramway de Vevey-Montreux a été l'un des premiers qui ait été installé en Europe.

La ligne de travail est constituée par un double tube, avec prise de courant en forme de navette.

Le rendement électrique de cette ligne est excellent, car il n'y a aucune perte ; c'est ainsi que 13 voitures circulant en même temps sont alimentées avec 65 chevaux, produits hydrauliquement. Il existe une station à vapeur, pour assurer le service et comprenant 2 machines horizontales Sulzer de 150 chevaux chacune.

Les voitures ont un seul moteur d'une puissance de 25 chevaux.

Nous donnons les prix détaillés des frais de premier établissement et d'exploitation.

Le nombre de voitures-kilomètres annuelles est de 390.000.

FRAIS DE PREMIER ÉTABLISSEMENT

	Francs.
A. — *Acquisition du terrain pour le dépôt et la station centrale.*	17.505
B. — *Ligne et voie:*	
a) Voie ferrée comprenant :	
Traverses, rails, contre-rails et leurs attaches	174.883
Aiguilles, croisements, plaques tournantes et chariots	7.477
Fouille et pose de la voie	30.026
Empierrement ou réfection	6.843
b) Ligne aérienne comprenant :	
Poteaux métalliques, consoles, attaches	112.555
Pose de la ligne aérienne	16.175
Fil de travail et feeder	10.000
C. — *Bâtiments de la ligne*, comprenant :	
Dépôt et atelier	16.736
Kiosques pour stations	2.200
Installation de l'éclairage	500
D. — *Matériel roulant :*	
16 voitures avec moteurs et accessoires	125.000
E. — *Station centrale*, comprenant :	
Chaudières, machines à vapeur, machines dynamos, tableaux et accessoires	100.000
	620.000

2° FRAIS D'EXPLOITATION

	DÉPENSES	
	Totales En francs.	par voiture-kilomètre,
A. — *Administration générale*	18.830	4,8 centimes
Recettes et contrôle	28.995	7,4 —
B. — *Traction et matériel:*		
Bureau de la traction et du matériel	3.870	1,0 —
Mécaniciens-conducteurs	21.005	5,2 —
Personnel chargé du graissage et du nettoyage des voitures	3.538	0,7 —
A reporter	76.238	19,1

Report	76.238	19,1	
C. — *Matières consommées par le matériel roulant :*			
Force motrice	30.000	7,6	centimes
Chauffage et éclairage des voitures	522	0,12	—
Matières servant au nettoyage des voitures	862	0,25	—
Huiles et graisses	476	0,11	—
D. — *Entretien et renouvellement du matériel :*			
Entretien et surveillance de la voie	19.019	4,9	—
Matériel roulant: voitures	12.022	3,1	—
Moteurs et accessoires	5.822	0,15	—
Câbles	505	0,1	—
Trolley	312	0,09	—
E. — *Dépenses diverses :*			
Éclairage, chauffage, nettoyage des ateliers.	1.011	0,3	—
Divers	5.550	1,5	—
Total	152.339	37,32	centimes

Prix obtenus sur diverses lignes. — Le prix de la voiture-kilomètre a été sur les lignes installées à:

Genève	21	centimes
Mürren	24,8	—

PAYS DIVERS

Belgique. — Le prix de revient de la voiture-kilomètre, en fil aérien, a été, pour les frais de traction, à :

Bruxelles	11,58 centimes

La ligne a une longueur de 18 kilomètres, avec des rampes qui atteignent 7 pour cent. Il y a 26 voitures en circulation ayant 45 places chacune.

Autriche-Hongrie. — Le prix de revient de la voiture-kilomètre, en fil aérien, a été de:

Budapest (deux lignes)	27	centimes (charges fixes comprises)
Mödling-Vienne	17,2	—

La longueur de la ligne de Mödling-Vienne est de

4.480 mètres, le prix indiqué a été obtenu en 1892, avec 126.825 voitures-kilomètres et 378.242 voyageurs transportés.

Pour terminer, nous donnons plus loin en tableau les prix de revient de la voiture-kilomètre que nous avons pu connaître, dans les différents pays d'Europe et en Amérique: nous indiquons le mode de distribution par fil de travail *aérien* ou *souterrain*.

B. — *Prix de revient de la voiture-kilomètre avec fil de travail souterrain (en caniveau)*

S'il est difficile d'obtenir des renseignements précis sur le prix de revient de la voiture-kilomètre avec ligne de travail aérienne (où il existe tant de lignes établies suivant ce système), on comprend que, pour les prix de revient avec fil de travail souterrain, cette difficulté devient presque insurmontable, étant donné le peu de lignes établies avec ce système.

Cependant quelques renseignements nous permettent d'établir le prix de la voiture-kilomètre des tramways de Budapest.

Pendant l'exercice 1893-1894, il a été parcouru 3.310.000 voitures-kilomètres, et les dépenses d'*exploitation* ont été de 1.201.000 francs, ce qui fait ressortir la voiture-kilomètre à 36 centimes. Si l'on compte l'amortissement de la ligne et le remboursement partiel du capital engagé, on a une dépense supplémentaire de 404.000 francs, ce qui donne par voiture-kilomètre 12 centimes à ajouter.

Le prix *total* de la voiture-kilomètre reviendrait donc à $36 + 12 = 48$ centimes.

La recette brute par voiture-kilomètre pendant le même exercice a été de 70 centimes.

Nous donnerons, sur cette entreprise, quelques renseignements complémentaires au chapitre suivant.

Prix de revient de la voiture-kilomètre pour ligne souterraine à caniveau (système Lineff). — M. Kapp a donné, dans une intéressante étude, le prix moyen de la voiture-kilomètre avec caniveau, établi suivant le système Lineff.

Les données étaient : 14 voitures à la vitesse de 11 kilomètres à l'heure. Le nombre de voitures-kilomètres annuel étant de 500.000, la dépense par voiture-kilomètre se décomposerait comme suit :

Force motrice	5,5	centimes
Salaires (y compris conducteurs)	10,0	—
Entretien du canal et des conducteurs	3,7	—
— des voitures	4,9	—
— des moteurs	1,2	—
— du matériel fixe	0,7	—
Frais généraux et direction	4,8	—
Amortissement et intérêts	2,5	—
	43,3	centimes

Le capital de premier établissement nécessaire était de 650.000 francs. L'amortissement se faisait en quinze ans, ce qui donnait par an 62.655 francs, soit 12,5 centimes par voiture-kilomètre. Le prix *total* de la voiture-kilomètre ressortait donc à 43,3.

Tramways de Washington (ligne souterraine). — Cette installation fonctionne depuis peu de temps (juillet 1895). Aussi dans le prix de revient le chapitre *Entretien* est-il faible.

Le prix de revient de la voiture-kilomètre se décompose de la façon suivante, d'après les renseignements donnés par l'ingénieur-directeur.

DÉPENSES DU MOIS DE NOVEMBRE 1895

Salaires à la station centrale et employés de bureau			3.525,80	francs
Salaires des conducteurs, mécaniciens, aiguilleurs, etc			22.496,85	—
Force motrice : charbon, huile, divers			4.597,65	—
Entretien général.	Réparation des voitures, de leurs moteurs et des trolleys	5.990,60	6.898,50	—
	Entretien de la voie et de la conduite souterraine	779,65		
	Réparation aux bâtiments	128,25		
Service d'éclairage			372,65	—
Divers			445,85	—
Dépense totale d'exploitation			38.337,30	francs

Le nombre des trains-kilomètres pendant ce mois a été de 139.000 avec 26 voitures travaillant, en moyenne, vingt heures par jour. Ce chiffre se rapportait aux trains-kilomètres de 2 voitures, dont une remorquée; le prix du train-kilomètre est donc :

$$\frac{3.833.730}{139.000} = 27,6 \text{ centimes.}$$

Puisque cette voiture en remorquait une autre, le prix de la voiture-kilomètre automobile est donc, d'après la règle que nous avons indiquée précédemment, environ :

$$\frac{2}{3} \times 27,6 = 18,2 \text{ centimes.}$$

Ce prix est très bas : la raison en est à ce que, comme nous l'avons dit, le chapitre *Entretien général* n'a pas l'importance qu'il aura dans quelques années.

La Compagnie exploitant ces lignes de tramways a donné [1] pour le mois de janvier 1896 l'ensemble des frais d'exploitation résultant de ce système. Chaque voiture automotrice remorque une voiture : ces deux voitures sont semblables et mesurent chacune $4^{m},80$ de longueur.

[1] *The Street-Railway Journal.*

Le prix de revient du train-kilomètre ainsi formé est revenu, pendant ce mois, à 28,97 centimes avec un nombre total de 153.975 trains-kilomètres. Les frais relatifs aux frais de la station centrale et les réparations des voitures et de l'équipement électrique se décomposent de la façon suivante:

A. — STATION CENTRALE

		DÉPENSES totales en francs	DÉPENSES par train-kilomètre en centimes.
Main-d'œuvre.	Mécaniciens	917,60	0,59
	Chauffeurs	607,50	0,39
	Autre main-d'œuvre	737,00	0,47
Force motrice.	Charbon	2.685,00	1,743
	Huile et chiffon	312,00	0,20
	Eau	0,00	0,00
Entretien.	Renouvellement des outils	227,25	0,14
	Réparations aux moteurs à vapeur	290,15	0,19
	— aux dynamos	8,00	0,005
	— aux chaudières	3,00	0,001
Divers.	Tableau de distribution et canalisation intérieure	96,35	0,062
	Conducteur	1,50	0,001
	Pompes	8,35	0,005
	Divers	1,50	0,001
	Total	5.895,20	3,828

B. — RÉPARATIONS DES VOITURES ET DE L'ÉQUIPEMENT ÉLECTRIQUE

		DÉPENSES totales en francs	DÉPENSES par train-kilomètre en centimes.
Aux voitures, et diverses.	Travaux divers	332,15	0,21
	Freins et sabots	219,15	0,14
	Roues et essieux	175,00	0,11
	Protecteurs (fenders)	163,25	0,106
	Réparations diverses	508,30	0,33
	Chasse-neige et sabliers	61,35	0,04
	Réparation des appareils de chauffage	0,00	0,00
	Peinture et vernissage	518,25	0,235
	Réparation des outils	58,45	0,000
	Rivets	283,65	0,184
	Coussinets et fusées	217,35	0,141
	A reporter	2.536,90	1,496

	Report....	2.536,90	1,496 centimes
Équipement électrique.	Réparations des armatures....	284,25	0,184
	— des conducteurs..	53,40	0,034
	— diverses ..	261,25	0,169
	Canalisation intérieure........	212,50	0,138
	Réparations du trolley........	626,85	0,407
	— diverses..........	508,30	0,33
	Controlleurs	144,20	0,158
	Total.................	4 627,65	2,916 centimes

Pour effectuer ce trafic de 153.975 trains-kilomètres de 2 voitures, l'usine a produit 113.355 kilowatts-heures avec une consommation de charbon de 200.638 kilogrammes, ce qui donne, par kilowatt-heure, une consommation de $1^{kg},77$ de charbon. La consommation en énergie par train-kilomètre a été, au tableau, de 737 watts : ce chiffre se rapproche de ceux déjà donnés, car pour la voiture *automobile seule* on aurait 486 watts-heures.

PRIX DE REVIENT DE LA VOITURE-KILOMÈTRE
DANS LES DIFFÉRENTS PAYS (EN CENTIMES)

Pour donner une idée d'ensemble des prix de revient, obtenus dans les différents pays d'Europe et d'Amérique, nous les réunissons dans le tableau suivant :

ALLEMAGNE	Bremen (aérien)	10,12	
	Erfurt (aérien)	88,5	
	Francfort-Offenbach (aérien)	24,7	à 30,6
	Gotha (aérien)	13,26	
	Halle (aérien)	16,3	à 17,9
	Hambourg (aérien)	15,21	
	Lichterfeld [près Berlin] (aérien)	29,5	
	Remscheid (aérien)	17,4	
ANGLETERRE	Blackpool (souterrain)	20,00	
	Besbrook-Newry (aérien)	25,00	
	Guernesey (aérien)	38,6	à 39,0
	Liverpool (aérien)	27,00	à 28,6
	South-Straffordshire (aérien)	25,75	à 29,4
AUTRICHE-HONGRIE	Budapest (aérien)	27,00	
	Budapest (souterrain)	36,00	
	Mödling-Vienne (aérien)	17,2	

		Dépenses d'exploitation en centimes	Recette nette par voiture-kilomètre en centimes	
ÉTATS-UNIS États de Pensylvanie (aériens).	Camellsville, New-Aven.	16,64	6,4	
	Du Bois Traction	32,76	2,24	
	Beaver-Valley Traction	28,86	8,0	
	City Altwna	26,30	3,2	
	Duquesne Traction	62,81	5,47	
	East Reading	9,6	—	
	Erie City Electric	10,00	4,16	
	Federal Sreet and Pleasant-Valley	59,80	27,20	
	Hestouville and Fairmont	21,5	5,75	
	Greenburg and Hempfied Electric	51,2	— 6,5	(perte)
	Johnstown	22,4	—	
	Lancaster City	26,00	—	
	Lebanon and Annville	11,20	0,0	
	Mohannay City	17,25	— 9,2	(perte)
	Newcastle Electric	14,40	3,2	
	People's Scranton	47,60	22,1	
	Pittsburg and Manchester Traction	47,5	24,8	
	Scranton	57,6	—	
	Scranton Suburban	11,50	0,0	
	Schambern	27,8	12,8	
	Uniontown	32,0	8,95	
	Washington Electric	22,70	11,52	
	Williamjat	26,2	4,8	
	Moyenne en centimes.	32,00	19,5	

États-Unis. États de Massachusetts (fil de travail aérien).	Attleborought.........	84,3
	Wrentham............	
	Brockton.............	48,3
	Holbroock	
	Clinton	11,94
	Hoose-Valley	56,9
	Hall	51,88
	Marlborough	37,46
	Milford-Hopedale	102,2
	Natick electric..........	47,3
	Newtonville-Watertown..	49,53
	Plymouth-Hungston.....	54,97
	Worcester-Millbury......	61,6
	Worcester-Shewsbury...	28,41
Belgique.........	Bruxelles (aérien)........	11,58
	— (accumulateurs)	29,5
France..........	Bouscat-Bordeaux (aérien)........	20
	Clermont-Ferrand (aérien)	18,5
	Dijon (aérien)...................	26,2
	Le Havre (aérien)................	20
	Lyon (Oullins) (aérien)...........	27
	Marseille (aérien)................	28
	Paris (accumulateurs)............	48 à 35
	Le Raincy-Montfermeil (aérien)...	21
	Roubaix-Tourcoing (aérien)	16
	Paris (souterrain par section).....	20
États-Unis....... (Aériens.)	Boston (prix moyen).............	13,5
	Chicago....................	42,4 à 44
	Pittsburg........................	63 à 83,1
	Rochester.......................	34,4 à 35,6
	Washington (souterrain)..........	18,0
	Prix moyen de 22 lignes..........	34,3
Suisse........... (Aériens.)	Genève.........................	21
	Mürren	24,8
	Vevey-Montreux.................	39,6

Pour terminer ce chapitre, nous donnons la liste des tramways électriques installés en Europe au 1er janvier 1896. M. Hospitalier, rédacteur en chef du journal *l'Industrie électrique*, dans laquelle cette statistique a paru, a bien voulu

nous autoriser à reproduire ce document très intéressant, ce dont nous le remercions vivement.

Dans ces tableaux, l'abréviation A. E. G. signifie : *Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft;* l'abréviation U. E. G. signifie : *Union Elektricitäts Gesellschaft.*

ÉTATS ET VILLES	CONCESSIONNAIRES OU EXPLOITANTS	CONSTRUCTEURS ET SYSTÈMES ADOPTÉS (1)	ANNÉES	LIGNE LONGUEUR	VOIE — NATURE ET LARGEUR	RAILS — TYPE ET POIDS	RAMPE MAXIMA	COURBES RAYON MINIMA
Allemagne.				km.	m.	kg : m.	p. 100	m.
Lichterfelde (près Berlin.).......	Siemens et Halske......	Siemens et Halske....	Mai 1881..	3,6	unique de 1,00.......	»	1,0	30
Francfort-Offenbach..........	*Frankfurt-Offenbacher Trambahn Gesellschaft*	Siemens et Halske....	Avril 1884.	6,7	unique de 1,00.......	»	3,3	30
Halle...........	*Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft*	A. E. G. *Système Sprague*....	Mai 1891.. Sept. 1892.	7,8 4,8	unique de 1,00.......	Haarmann. Phénix 7 B......	5,0	15
Géra............	*Geraer Strassenbahn Acktiengesellschaft*..	A. E. G. *Système Sprague*....	Fév. 1892..	9,4	unique de 1,00.......	Phénix 7 B......	5,0	»
Brême..........	*Bremer Strassenbahn Gesellschaft*	U. E. G. *Syst. Thomson-Houston*..............	Mai 1892..	11,7	9,4 km unique / 2,3 km unique de 1,435	Phénix..........	2,0	20
Hanovre........	*The tramways C° of Germania*...........	Siemens et Halske....	Mai 1893..	12,0	unique..............	»	1,9	»
Breslau.........	*Breslauer elektr. strassbahn Gesellschaft*....	A. E. G. *Système Sprague*...	Juin 1893.	17,6	unique de 1,435.....	Phénix et Hoerde.	2,5	»
Dresde..........	*Deutsche Strassenbahn Gesellschaft*.........	Siemens et Halske....	Juil. 1893.	6,0	unique..............	»	5,0	13
Remscheid.......	*Remscheider Strassenbahn Gesellschaft*....	U. E. G. *Syst. Thomson-Houston*..............	Juil. 1893.	8,4	unique de 1,00.......	Phénix de 34....	10,6	18
Barmen.........	*Barmer Bergbahn Actiengesellschaft*......	Siemens et Halske....	Août 1893.	1,7	double..............	»	16,8	150
			1894......	1,7	double..............	»	2	150
(Heckinghausen).	Ville de Barmen.......		1894......	2,4	»	»	7	22
Essen........... Altenessen-Essen B. M. gare. Essen B., Bredney et Altenessen-Nordstern.	*Consortium Darmstadt Bank, M. Baschtein*.	A. E. G. *Système Sprague*....	Août 1893.	12,3	unique de 1,00.......	Haarmann.......	6,5	»
			1894......	6,0	unique de 1,00.......	Haarmann.......	3	»
Hambourg.......	Société des chemins de fer vicinaux de Hambourg..............	U. E. G. *Syst. Thomson-Houston*..............	Mars 1894.	80,0	unique de 1,435.....	Phénix et Culin..	5,0	18
Gotha	Société électrique par actions de Francfort.	U. E. G. *Syst. Thomson-Houston*..............	Mai 1894..	2,6	unique de 1,00.......	Phénix..........	4,0	18
Erfurt..........	Société électrique des tramways d'Erfurt....	U. E. G. *Syst. Thomson-Houston*..............	Juin 1894.	10,5	unique de 1,00.......	Haarmann et Phénix...........	6,0	15
Mulhouse.......	Société anonyme des tramways de Mulhouse	Siemens et Halske....	1894......	4,0	»	»	2,6	15
Bochum-Herne...	Bochum-Herner Strassenbahn....	Siemens et Halske....	1894......	7,8	»	»	1,96	16
Lubeck..........	Société de tramways et de chemins de fer d'interêt local	A. E. G. *Système Sprague*...	1894......	9,87	unique de 1,10.......	Phénix..........	5	»
	»	A. E. G. *Système Sprague*....	1895......	4	unique de 1,10.......	Phénix..........	2	»
Chemnitz........	Société de tramways et de chemins de fer d'intérêt local...........	A. E. G. *Système Sprague*....	1893......	14,8	unique de 0,915.....	Phénix..........	3,33	»
Dortmund.......	Société de tramways et de chemins de fer d'intérêt local,..........	A. E. G. *Système Sprague*....	1894......	15,7	unique de 1,435.....	Hœrde de 29.....	2,5	»
Zwickau.........	*Zwickauer Elecktricitätswerke*...........	Schuckert et Cie......	Juin 1894..	4,0	voie simple de 1,00....	Phénix..........	35	22
Dresde (Blasewitz)	*Dresdener Strassen bahn*...............	Kummer et Cie à Dresde	Nov. 1893.	4,0	unique de 1,5........	Phénix de 95.....	3	12
Dresde,.........	»	U. E. G.	1895......	9,0	double de 1,44.......	»	»	»
Berlin. Gesundbrunnen-Pankow.	Siemens et Halske......	U. E. G. Siemens et Halske....	Mai 1895..	3,5	»	Hœrde de 95	3,3	25
Plauen..........	»	A. E. G. *Système Sprague* ...	1894......	5,2	unique de 1,00.......	Phénix..........	8,3	»
Königsberg.....	»	A. E. G. *Système Sprague*....	1895......	5,5	unique de 1,00.......	Phénix..........	4	»
Altenbourg......	»	A. E. G. *Systeme Sprague*....	1895......	4,1	unique de 1,00.......	Phénix..........	9,0	»
Strasbourg......	»	A. E. G. *Système Sprague* ...	1895......	7,85	unique de 1,435.....	Demerbe et Zwillingsschien	1,04	»
Stuttgard.......	»	A. E. G. *Système Sprague* ...	1895......	23,3	unique de 1,00.......	Haarmann et Hartwig	1,0	»

(1) A. E. G. signifie : *Allgemeine elektricitäts Gesellschaft*. — U. E. G. signifie : *Union Elektricitäts Gesellschaff*.

MOTEURS — NOMBRE, NATURE ET PUISSANCE	PUISSANCE MOTRICE TOTALE	DYNAMOS — NOMBRE, TYPE ET PUISSANCE	POTENTIEL DE DISTRIBUTION	TRANSMISSION DE L'ÉNERGIE MODE EMPLOYÉ	VOITURES — NOMBRE ET FONCTIONS	ÉLECTROMOTEURS NOMBRE PAR VOITURE ET PUISSANCE	OBSERVATIONS
KW.	KW	KW.	volts			KW.	
2 vapeur de 22..	44	2 Siemens à tambour de 21...........	165	conducteur aérien; retour par rails.	4 automotrices.	»	Ligne transformée en 1893. 100 800 voitures-km en 1892. Traction, 0,295 fr. : voiture-km.
4 vapeur de 30...	120	4 Siemens à tambour de 21...........	300	conducteur aérien tubulaire......	10 automotrices. 6 remorquées.	»	521 430 voitures-km en 1891-1892. Traction, 0,247 fr. : voiture-km.
2 vapeur de 130..	200	2 A. E. G. de 60..	500	conducteur aérien.	25 automotrices. 13 remorquées. 10 automotrices.	2 de 9........	Vitesse moyenne, 9 km : heure. En projet, extension du réseau.
3 vapeur de 130..	390	6 A. E. G. de 60..	500	conducteur aérien.	18 automotrices. 16 remorquées.	2 de 9........	Energie disponible utilisée pour éclairage et force motrice.
3 Mc Intosh de 110	330	3 T. H. de 100 ...	500	conducteur aérien; trolley........	25 automotrices. 18 remorquées.	1 de 11.......	Vitesse moyenne, 10 et 14 km : heure.
A vapeur........	300	2 à pôles intérieurs de 150..........	500	conducteur aérien.	18 automotrices. 32 remorquées.	»	
3 vapeur de 150.	450	6 A. E. G.........	500	conducteur aérien.	40 automotrices. 25 remorquées.	2 de 9........	
A vapeur	200	2 à pôles intérieurs de 90...........	500	conducteur aérien.	16 automotrices. 16 remorquées.	»	En projet, prolongement de la ligne vers Loschwitz.
4 Mc Intosh de 130.	440	4 T. H. de 100....	500	conducteur aérien; trolley........	18 automotrices.	2 de 11.......	Ligne exceptionnellement accidentée.
A vapeur........	300	2 à pôles intérieurs de 150..........	500	conducteur souterrain..........	8 automotrices.	»	Crémaillère.
»	»	3 Siemens de 147..	500	crémaillère conducteur aérien.	8 automotrices.	»	
»	»	Usine de la Crémaillère............	500	»	6 automotrices.	»	
2 vapeur de 150..	300	4 A. E. G.........	500	conducteur aérien.	13 automotrices. 6 remorquées..	2 de 11.......	
2 à vapeur de 150.	300	4 A. E. G.........	500	conducteur aérien.	11 automotrices. 11 remorquées.	2 de 11.......	
»	»	»	500	conducteur aérien et trolley......	247 automotrices et remorquées	1 de 18.......	Puissance électrique fournie par l'usine municipale.
»	»	»	500	conducteur aérien et trolley......	6 automotrices.	1.............	Puissance électrique fournie par l'usine municipale.
3 Mc Intosh de 110.	330	3 Thomson-Houston	500	conducteur aérien et trolley......	29 automotrices et remorquées	1.............	
»	»	»	500	conducteur aérien; retour par rails.	9 automotrices.	»	Puissance électrique fournie par la station centrale de Mulhouse.
»	»	2 Siemens de 55...	500	conducteur aérien; retour par rails.	5 automotrices.	»	
3 à vapeur de 110.	330	6 A. E. G.........	500	conducteur aérien.	24 automotrices. 20 remorquées.	2 électromoteurs.......	
»	»	2 A. E. G.........	500	conducteur aérien.	4 automotrices.	2 électromoteurs.......	
2 à vapeur de 125.	250	4 A. E. G.........	500	conducteur aérien.	28 automotrices. 20 remorquées.	2 électromoteurs.......	
3 à vapeur de 150.	450	4 A. E. G.........	500	conducteur aérien.	30 automotrices. 20 remorquées.	2 électromoteurs.......	
A vapeur........	220	2 Schuckert.......	500	conducteur aérien et trolley......	11 automotrices.	2 de 7........	
2 vapeur vert. compound à condensat. de 125....	250	4 couplées directement............	500	conducteur aérien et trolley......	9 automotrices. 9 remorquees..	2.............	Vitesse maxima de 25 km : heure.
»	»	»	»	»	5 automotrices.	»	
2 vapeur de 70...	140	2 Siemens de 65...	500	conducteur aérien; retour par rails.	8 automotrices.	»	
2 vapeur de 75 ..	150	2 de 60...........	500	conducteur aérien.	9 automotrices.	2 électromoteurs.......	
1 vapeur de 80...	80	1 de 60...........	500	conducteur aérien.	10 automotrices.	9 voit. à 1 électromoteur, 2 à 2 électromoteurs.	
3 vapeur de 80..	240	6 A. E. G.........	500	conducteur aérien.	7 automotrices.	2 electromoteurs	
3 vapeur de 70..	210	3 A. E. G.........	500	conducteur aérien.	14 automotrices. 18 remorquees.	12 à 1 électromoteur, 2 à 2 electromoteurs........	
»	»	»	500	conducteur aérien.	29 automotrices. 29 remorquées.	2 électromoteurs........	Puissance électrique fournie par la station centrale.

ÉTATS ET VILLES	CONCESSIONNAIRES OU EXPLOITANTS	CONSTRUCTEURS ET SYSTÈMES ADOPTÉS	ANNÉE	LIGNE LONGUEUR	VOIE — NATURE ET LARGEUR	RAILS — TYPE ET POIDS	RAMPE MAXIMA	COURBES RAYON MINIMUM
				km.	m.	kg. : m.	p. 100	m.
Spandau	»	A. E. G. *Système Sprague*	1895	11,5	unique de 1,00	Hœrde	0,5	»
Mecklembourg	*Mecklembeuren Fettnang*	Ateliers de construction d'Oerlikon	1895	4,4	unique de 1,435	Vignole	20.0	[illegible]
Aix-la-Chapelle	»	Schuckert et Cie	1895	37,8	unique de 1,00	»	11,0	[illegible]
Dusseldorf	»	Schuckert et Cie	1895	7,0	unique de 1,435	»	»	»
Elbing	»	U. E. G.	1895	3,8	simple de 1,00	Broca	4,0	[illegible]
Munich	»	U. E. G.	1895	6,2 / 3,5	double de 1,435	»	2,0	[illegible]
Angleterre.								
Portrush - Bushmills	*Giants Causeway Portrush Tramways C°.*	Siemens Brothers	Sept. 1883.	9,6	unique de 0,914	doublechampignon de 20.8	3,3	»
Blackpool	*The Blackpool Corporation.*	Elwell-Parker. *Système Holroyd Smith*	1883	3,2	unique de 1,435	»	2,5	19,[illegible]
Ryde Pier (île de Wight)	Société locale	Siemens Brothers	1883	1,2	unique	»	»	»
Brighton	M. Magnus Volk	*Système Magnus Volk.*	Août 1884.	1,6	unique de 0,938	»	3,5	»
Bessbrook - Newry (Irlande)	*Bessbrook-Newry Tramway C°*	Mather et Platt. *Système Hopkinson*	Oct. 1885.	5,0	unique de 0,914	»	2,0	16.[illegible]
Birmingham	*Birmingham Central Tramway C°*	Elwell-Parker	1890	4,8	double et unique	»	3,1	12.[illegible]
Southend-Pier	Société locale	Crompton	Août 1890.	1,2	unique de 1,06	Vignole	»	»
Londres	*City and South London Railway C°*	Mather et Platt. *Système Hopkinson*	Déc. 1890.	5,1	double de 1,435 (en deux tunnels)	»	3,5	»
Carstairs	J. Monteith	*Syst. Anderson Munro.*	1891	2,0	»	»	»	»
Leeds	*Roundhay Electric Tramway C°*	*Syst. Thomson-Houston*	Déc. 1891.	9,0	6,0 km unique / 3,0 km double de 1,435	de 45	5,0	»
Peter Port (Guernesey)	*Guernesey Tramway C°.*	Siemens Brothers	Avril 1892.	2,9	unique de 1,435	champignon et orn. de 20	2,5	22,[illegible]
Walsall, Wednesbury, Bloxwich, Darlaston	*South Straffordshire Tramway C°*	*The Electric Construction Corporation*	Déc. 1892.	12,0	unique	»	5.0	»
Liverpool	*Liverpool Overhead Railway C°*	*The Electric Construction Corporation. Système Hopkinson*	Févr. 1893.	10,0	double	»	3,3	»
Douglas and Laxey	*The Isle of Man Tramway and Electrical Power C°*	Mather et Platt. *Système Hopkinson*	Juil. 1894.	11,2	double de 0,90	»	5,0	30,[illegible]
Laxey-Mont-Snaefell (île de Man)	*The Isle of Man Tramway and Electrical Power C°*	Mather et Platt. *Système Hopkinson*	1895	8,0	double de 1,00 avec rail central, syst. Fell	Vignole	8,3	200,0
Bristol	*The Bristol Tramways and Carriage C°*	*Syst. Thomson-Houston*	1895	6,4	simple de 1,44	Vignole de 38	6,7	»
Coventry	*Coventry Electric Tramway*	»	»	2,12	»	»	»	»
Southend-Pier	*Southend Corporation.*	»	»	2,0	»	»	»	»
Autriche-Hongrie.								
Mödling-Vienne	*K. K. priv. Sudbahn Gesellschaft*	Siemens et Halske	Oct. 1883.	4,5	unique de 1,00	»	1,5	30
Vienne-Huttelsdorf, Westbahn (ligne d'essai)	»	»	1895	5,84	»	»	3,6	»

MOTEURS — NOMBRE, NATURE ET PUISSANCE	PUISSANCE MOTRICE TOTALE	DYNAMOS — NOMBRE, TYPE ET PUISSANCE	POTENTIEL DE DISTRIBUTION	TRANSMISSION DE L'ÉNERGIE MODE EMPLOYÉ	VOITURES — NOMBRE ET FONCTIONS	ÉLECTROMOTEURS — NOMBRE PAR VOITURE ET PUISSANCE	OBSERVATIONS
KW.	KW	KW.	volts			KW.	
vapeur de 100.	200	2 A. E. G.........	500	conducteur aérien.	24 automotrices. 20 remorquées..	1 électromoteur.	
turbines Jonval de 45 et 2 vap. réserve	180	2 Oerlikon de 44...	500	conducteur aérien.	33 automotrices.	2 de 15.......	La station fournit également l'éclairage de la ville.
»	300	2 Schuckert	500	conducteur aérien.	40 automotrices.	2 de 10 kw....	Puissance électrique fournie par la station centrale.
moteurs à vap.	210	2 Schuckert de 100.	500	conducteur aérien.	8 automotrices.	2 de 10 kw....	Les anciennes voitures à traction animale sont remorquées.
mot. à vap. de 110	220	2 Thomson-Houston de 100...........	500	conducteur aérien.	10 automotrices. 5 remorquées..	1 électromoteur.	
»	»	»	500	conducteur aérien.	20 automotrices. 20 remorquées..	1 électromoteur.	La puissance motrice est fournie par la station centrale.
turbines de 37.	74	2 Siemens D. S. D_{00}	250	cond. rail T à 0.483 m. au-dessus du sol, 9,4kg par m.........	5 automotrices. 2 remorquées..	Siemens D_2....	Traction 0,20 fr. par voiture-km.
vapeur de 52..	104	4 Elwell-Park. de 54.	230	conducteur souterraindans un chenal central	10 automotrices.	»	Voitures de 30 et de 36 places.
à gaz de 9.....	9	1 Siemens de 7,2...	120	conduct. rail central...........	1 automotrice..	»	Coût d'installation, 32 000 fr. Succès financier obtenu.
à gaz de 6 et de 9.	15	2 Siemens de 4....	160	conduct. rail central...	2 automotrices.	1 Siemens.....	Voie littorale détruite en 1883, reconstruite en 1884.
turbine de 46..	46	2 Edison-Hopk. de 18.	250	cond. rail central en acier mangan.	2 automotrices. 22 wagonnets..	1 Ed-H. de 15..	1 voiture automatique remorquant 3-4 wagonnets. Traction 0, 41 fr. par voiture-km.
Davey-Pax de 30...........	60	2 Elwell-P. de 60..	200	96 acc. Epstein de 90 A. h........	12 automotrices. 2 remorquées..	2 de 11.......	Exploitation 1891-1892, *perte* de 13,37 centimes par voiture-km.
Davey-Paxmann..	»	Crompton de 30...	200	cond. central en cuivre de 50mm2 sect.	1 automotrice..	»	Vitesse moyenne, 23 km : heure.
J. Fowler de 300	900	3 Edison-Hopk. 225.	500	conducteur central rail acier......	14 locomotives.	2 Ed.-H. de 37.	8 trains de 1 locom. et 3 wag. de 34 pl. constamment de service. En 1892, 0,40 fr par train-km.
»	»	»	»	»	»	»	
McIntosh de 150.	150	2 Thomson de 62...	300	conducteur aérien; trolley	6 automotrices. 2 remorquées ..	2 de 11.......	Première application du trolley en Angleterre.
Marshall de 75.	150	2 Siemens de 50...	500	conducteur aérien; trolley	3 de 52 places .. 4 de 68 places..	1 Siemens de 11. 2 Siemens de 11.	Voitures de 68 places montées sur bogies.
Corliss de 95..	285	2 Elwell-Parker de 90..............	350	cond. aerien latéral à la voie; trolley	16 automotrices.	2 de 11........	Vitesse moyenne, 14 km : heure.
Corliss de 300..	1200	4 Elwell-Parker de 237..............	500	conducteur en acier form. rail central...........	40 automotrices.	1 de 24.......	Voie aérienne à 4, 5 m. du sol; trains de 2 voitures de 56 places.
vapeur compound de 75.........	225	3 Mather et Platt de 50...........	500	2 conduct. aériens, 2 barres collectrices (syst. Hopkinson)	9 automotrices.. 12 remorquées..	2 Edison-Hopkinson	Batterie d'accumulateurs à Groundle de 540a-h.
vapeur compound de 90.........	450	5 Edison-Hopk. de 70..............	500	1 cond. aerien, avec barres collectrices (syst. Hopkinson)....	6 automotrices..	4 Mather et Platt de 18.......	Voitures de 48 places à 2 bogies. Batterie d'acc. à Laxey de 600 a.-h.
vapeur Willans de 118........	350	3 Tomson-H. de 100.	500	conducteur aérien et trolley......	12 automotrices. 12 remorquees..	2 de 15.......	Batterie d'acc. en dérivation. Vitesse moyenne 13 km : heure.
»	»	»	500	conducteur aérien et trolley......	»	»	
»	»	»	500	rail central (syst. Crompton).....	»	»	
vapeur de 11... vapeur de 110.	140	3 Siemens de 30...	300	conducteur aérien tubulaire......	8 automotrices. 7 remorquées..	1.............	135 835 voitures-km et 378 242 voyageurs en 1892. Traction, 0,172 fr. par voiture-km. Vitesse moyenne, 17 km.: heure.
»	[illegible]	»	»	136 acc. Waddel-Entz..........	»	»	

ÉTATS ET VILLES	CONCESSIONNAIRES OU EXPLOITANTS	CONSTRUCTEURS ET SYSTÈMES ADOPTÉS	ANNÉE	LIGNE LONGUEUR	VOIE — NATURE ET LARGEUR	RAILS — TYPE ET POIDS	RAMPE MAXIMA	COURBES
					m.	kg.: m.	p. 100	[illegible]
Budapest.								
Réseau urbain ...	*Budapester Electr. Stadtbahn Actiengesellschaft*	Siemens et Halske....	1889......	12,8	double..............	Haarmann........	1,6	[illegible]
Ligne du Cimetière.			1893......	5,2	double..............	»	2,0	[illegible]
Idem...........			1894......	5,5	unique..............	»	2,0	[illegible]
Lemberg	Siemens et Halske......	Siemens et Halske....	1893......	5,9	double..............	»	10,0	15
			1894......	8,5	double..............	»	6,8	15
Baden...........	Franz Fischer..........	*Système Schuckert*..	1894......	8,0	simple de 1,435......	Phénix et Vignole.	30	[illegible]
Gmunden	Egger et Cie..........	U. E. G............	1895......	2,6	unique..............	»	9,5	40
Teplitz-Eichiwald..........	*Internationale Elektricitats-Gesellschaft* (Vienne)............	U. E. G............	1895......	9,0	simple de 1,00.......	Broca............	5,0	»
Hagen...........	»	»	1895......	3,12	unique de 1,00.......	»	4,0	15
Belgique.								
Liège-Herstal ...	Société des tramways liégeois............	*Syst. Thomson-Houston*..............	1893......	3,2	unique de 1,435......	Demerbe de 32...	3,4	»
Bruxelles.......	Société anonyme des tramways de Bruxelles....	*Syst. Thomson-Houston*..............	1894......	10,2	double de 1,435......	Broca............	6,2	[illegible]
	Société nationale des chemins de fer vicinaux..	*Syst. Thomson-Houston*..............	1894......	11,5	simple de 1,00.......	Vignole..........	6,2	[illegible]
Bosnie.								
Sarajevo........	Gouvernement provincial de Bosnie...........	Siemens et Halske....	Mai 1895..	5,6	unique avec évitements	»	3,0	»
Espagne.								
Bilbao..........	»	*Syst. Thomson-Houston*..............	1891......	14,0	unique de 1,37.......	»	7,0	»
Bilbao-Santurce..	»	A. E. G. *Système Sprague*....	1895......	15,0	unique de 1,37.......	Phénix...........	5,0	»
France.								
Clermont-Ferrand à Royat.......	Compagnie des tramways électriques de Clermont-Ferrand............	Compagnie l'Industrie électrique. *Système Thury*...........	1890......	7,3	unique..............	Marsillon de 36..	5,3	»
Marseille.......	Compagnie générale française de tramways....	Ateliers Oerlikon.....	Mai 1892..	6,0	double de 1,435......	Humbert de 27...	6,0	30
Paris.								
Madeleine - St-Denis........	Société des tramways de Paris et du département de la Seine.....	»	1892......	8,4	double et unique de 1,44.....	Broca de 42 et Vignole de 22..	2,5	»
Opéra-Saint-Denis..........			1893......	9,2			2,0	20
Saint-Denis-Neuilly.......			Mai 1893..	6,0				
Salève..........	Société des chemins de fer du Salève, à Genève................	Compagnie de l'Industrie électrique, de Genève............	Déc. 1892.	5,7	unique de 1,00. Crémaillère Abt.......	Vignole de 15,3..	25,0	35
Bordeaux-Bouscat au Vigean.....	Compagnie du tramway de Bordeaux-Bouscat au Vigean...........	Compagnie française Thomson-Houston..	Déc. 1893.	4,8	unique de 1,00.......	Humbert, Vignole.	1,5	40
Lyon.								
Oullins........	Compagnie générale des omnibus et tramways de Lyon............	Compagnie française Thomson-Houston..	Avril 1894.	5,9	double et unique de 1,44	Marsillon de 36..	6	[illegible]
Saint-Genis-Laval...........			Oct. 1894..	2,06		Vignole de 20...	6,5	24
Vaise-Ecully...	M. Gindre de Lyon......	Compagnie de l'Industrie électrique de Genève............	Oct. 1894..	3,2	unique de 1,00.......	Marsillon de 12kg.	6,6	20
Saint-Fons.....	Compagnie des omnibus et tramways de Lyon.	Compagnie française Thomson-Houston..	1895......	9,1	double de 1,44.......	Marsillon de 18.. Vignole de 20...	4,3	25

MOTEURS — NOMBRE, NATURE ET PUISSANCE	PUISSANCE MOTRICE TOTALE	DYNAMOS — NOMBRE, TYPE ET PUISSANCE	POTENTIEL DE DISTRIBUTION	TRANSMISSION DE L'ÉNERGIE MODE EMPLOYÉ	VOITURES — NOMBRE ET FONCTIONS	ÉLECTROMOTEURS NOMBRE PAR VOITURE ET PUISSANCE	OBSERVATIONS
KW.	KW.	KW.	volts			KW.	
vapeur de 75.. vapeur de 150.	675	3 Siemens de 75.... 3 Siemens de 150..	300	c. souter. dans canal sous un des rails......	70 automotrices.	»	2 100 000 voitures-km. et 10 711 661 voyageurs en 1892.
»	250	1 Siem. pôles int. 250.	300	conducteur aérien.	20 automotrices.	»	
vapeur compound de 150........	300	2 Siemens pôles intérieurs de 150....	500	conducteur aérien.	16 automotrices.	»	
»	294	2 Siemens de 147..	500	»	16 automotrices.	»	
vapeur........	230	3 Schuckert de 50..	500	Conducteur aérien.	11 automotrices. 15 remorquées..	2 de 10.......	
Armington-Sims de 30.........	60	2 Th.-Houston de 30.	550	Conducteur aérien.	3 automotrices..	2 de 15.......	Vitesse : 25 km : heure en palier ; 8 km : heure sur rampe max.
»	»	»	500	Conducteur aérien et trolley......	8 automotrices.	2 électromoteurs	
»	»	»	»	88 acc. Waddel-Entz..........	5 automotrices.	1 de 11.......	Vitesse moyenne : 8 à 9 km : heure.
Hertay de 45 ..	90	2 à 4 pôles de 55..	550	conducteur aérien ; trolley........	1 automotrice..	1 de 18,5......	
vapeur à condens. de 110...	550	5 Thomson-Houston de 100..........	500	conducteur aérien et trolley......	29 automotrices. 29 remorquées..	2 électromoteurs	
vap. de 110, 1 vap. de 150 à condens.......	480	3 Th.-Houston de 100 1 Th.-Houston de 150	500	conducteur aérien et trolley......	18 automotrices. 18 remorquées..	2 électromoteurs	
vap. de 75.....	75	1 Siemens de 70...	300	conducteur aérien retour par rails.	1 locomotive... 5 voit automotr.	»	Réserve constituée par les dynamos de l'éclairage de même puissance.
Mc Intosh compound de 105..	210	2 T.-H. de 100....	500	conducteur aérien et trolley......	12 automotrices.	2 de 18,5.....	
vap. de 130...	390	3 A. E. G.........	500	conducteur aérien.	14 automotrices. 35 remorquées.	2 électromoteurs	
vapeur horiz. 110. compound 260..	370	2 Thury 105..... 165.....	500	conducteur aérien; trolley........	20 automotrices.	1 de 17.......	2 413 906 voyageurs transportés et 334 550 fr. de recettes brutes en 1882 ; 344 218 fr. en 1893.
Van de Herschove	560	Oerlikon 4 pôles 2 de 200. 1 de 100.	550	conducteur aérien en 4 sections ; feeders ; trolley.	18 automotrices de 60 places.	2 Oerlikon de 15..........	3 712 114 voyageurs transportés, 590 835 voitures-km et 536 216 fr. de recettes brutes en 1893. Traction, 0,26-0,28 fr. voiture-km.
Corliss de 92..	276	3 Desroziers de 60..	200	108 acc. L. Cély en 4 groupes de 27. Capacité 230 A.-h..........	15 automotrices de 52 places.	2 Manchester de 10..........	Usine de charge à Saint-Denis.
»	»	»	200		3 automotrices.		
2 turbines Rieter de 185........	370	2 Thury de 165.... 1 excitatrice de 15..	600	feeders aériens et rail isolé......	12 automotrices. 4 remorquées..	2 Thury à 4 pôles de 25.......	Dynamos à 12 pôles et 12 balais : induit de 2,5 m. de diamètre à axe vertical. Poids de la dynamo. 19 tonnes.
Mc Intosh de 110.	220	2 Thomson-Houston hypercomp. de 100.	550	conducteur aérien ; trolley........	8 automotrices de 40 places. 4 remorquées de 50 places..	1 Thomson-H. de 11.......	Trains de 2 voitures, dont 1 remorquée.
vap. horiz. de 110...........	220	2 Thomson-Houston de 100..........	550	conducteur aérien et trolley......	10 automotrices. 5 remorquées..	2 Thomson-H. de 18 kw....	Train de 2 voitures, dont 1 remorquée. Vitesse en palier : 20 km : heure.
1 vapeur de 80 Demange et Satre........	80	1 Thury de 73.....	550	conducteur aérien et trolley......	3 automotrices de 34 places.	2 de 15.......	Vitesse moyenne : 17 km : heure.
2 vapeur à condens. Pignet de 110...........	200	2 Thomson-Houston de 100	500	conducteur aérien et trolley......	10 automotrices. 5 remorquées..	2 de 20.......	Transformation d'une ligne à vapeur.

ÉTATS ET VILLES	CONCESSIONNAIRES OU EXPLOITANTS	CONSTRUCTEURS ET SYSTÈMES ADOPTÉS	ANNÉE	LIGNE LONGUEUR	VOIE — NATURE ET LARGEUR	RAILS — TYPE ET POIDS	RAMPE MAXIMA	COURBES
					m.	kg.: m.	p. 100	[illegible]
LE HAVRE. Jetée-Graville.. Rond-Point à Sainte-Adresse. Grand-Quai à Grands-Bassins.	Compagnie générale française de tramways....	Compagnie française Thomson-Houston..	Août 1894.	5,3 4,9 3,8	double et unique de 1,45....	Humbert de 27...	4,3	[illegible]
ROUBAIX-TOURCOING..........	Compagnie nouvelle des tramways de Roubaix-Tourcoing...........	Compagnie française Thomson-Houston..	»	20,2	simple de 1,00.......	Broca de 36.....	3	[illegible]
DIJON..........	Compagnie des tramways électriques de Dijon...	A. Grammont. *Système Thury*............	1er janvier 1895....	12,40	voie unique de 1,00..	Marsillon, rails et contre-rails de 20 kg........	3,5	[illegible]
NICE............	Société anonyme du tramway de Nice à Cimiez.	G. Averly et J. Weitz.	1895......	4,0	»	»	»	»
TOULON..........	Société anonyme d'électricité..............	Bouckaert et Cie (Bruxelles).........	1895......	11,5	»	»	»	»
LE RAINCY.......	Compagnie du tramway du Raincy à Montfermeil.............	Compagnie française Thomson-Houston..	1895......	5,5	unique de 1,00......	Vignole de 16... Marsillon de 32..	4,5	[illegible]
Hollande.								
LA HAYE-SCHEVENINGEN........	*Haagsche Tramwey Maat schappij*......	»	1890......	3,2	unique.............	»	5,0	[illegible]
Irlande.								
DUBLIN..........	Compagnie des tramways de Dublin...........	Compagnie française Thomson-Houston..	1895......	13,0	double de 1,57.......	Vignole de 38....	6,25	[illegible]
Italie.								
FLORENCE-FIESOLE.	*Chianti and Florentine hills railway Co*.....	*Systèmes Sprague et Thomson-Houston*.	Sept. 1890.	7,3	unique de 1.435......	Phénix, Vignole de 24...	8.0	[illegible]
GÊNES (Piazza Varrone-Piazza Manin)..........	Bucher et Durrer.......	Siemens et Halske....	1892......	2,0	»	»	8.3	[illegible]
GÊNES..........	»	A. E. G. *Système Sprague*....	1895......	11,32	unique de 1,00......	Phénix..........	8,3	[illegible]
ROME (Villa-Borghèse-Porta Pinciana)......	»	*Système Cattori*.....	Juin 1893..	0,75	»	»	»	[illegible]
ROME..........	Compagnie des omnibus et tramways de Rome.	Compagnie française Thomson-Houston..	1895......	2,8	double de 1,445......	Phénix de 33....	8,37	[illegible]
MILAN (Piazza del Duome Corso Sempione......	*Società generale italiana di elettricità Sist. Edison*........	Compagnie française Thomson-Houston..	Nov. 1893.	3,0	double de 1,445......	Phénix..........	4,0	[illegible]
Musocco.......	*Società generale italiana di elettricità Sist. Edison*........	Compagnie française Thomson-Houston..	15févr.1895	6,1	simple de 1,445......	Vignole de 18....	2,5	50
VARÈSE	Société des tramways de Varèze.............	Compagnie française Thomson-Houston..	1895......	6,4	unique de 1,10.......	Vignole de 21... Phénix de 33....	7,5	[illegible]
Norwège.								
CHRISTIANIA......	Société locale..........	A. E. G. *Système Sprague*....	1894......	7,5	unique de 1,435......	Phénix..........	6	
Portugal.								
PORTO...........	Sociétés des omnibus et tramways de Porto...	Compagnie française Thomson-Houston .	1895......	2,8	simple de 1,44.......	Vignole de 17 et 30	9,0	[illegible]
Roumanie.								
BUCAREST	Société anonyme d'entreprise des travaux d'Herstal et de Liège......	Siemens et Halske....	1894......	5,43	simple et double......	»	29	[illegible]

MOTEURS — OMBRE, NATURE ET PUISSANCE	PUISSANCE MOTRICE TOTALE	DYNAMOS — NOMBRE, TYPE ET PUISSANCE	POTENTIEL DE DISTRIBUTION	TRANSMISSION DE L'ÉNERGIE MODE EMPLOYÉ	VOITURES NOMBRE ET FONCTIONS	ÉLECTROMOTEURS NOMBRE PAR VOITURE ET PUISSANCE	OBSERVATIONS
KW.	KW.	KW.	volts.			KW.	
Corliss de 300.	900	3 Thomson-Houston de 300..........	550	conducteur aérien et trolley......	15 automotrices. 16 automotrices. 9 automotrices.	1 Thomson-H... 1 Thomson-H. de 18 kw....... 2 Thomson-H. de 18 kw.......	Vitesse en palier : 20 km : heure.
Corliss de 110..	3[illegible]0	3 Thomson-Houston de 100..........	500	conducteur aérien et trolley......	30 automotrices. 10 remorquées.	1 Thomson-H. de 18 kw.......	
vapeur à condens. Pignet de 300............	370	2 Thury de 165....	550	ligne aérienne, accumulateurs...	25 automotrices de 36 places.	1 électromoteur Thury de 15.	Vitesse moyenne : 15 km : heure.
vap. de 40....	80	2 dynamos de 200 A, 200 V..........	200	90 acc. L. Cély, cap. 150 A-h..	5 automotrices de 34 places.	2 de 20........	
vap. de 200....	450	3 dynamos de 150..	500	conducteur aérien et trolley......	24 automotrices.	2 de 11........	
vap. Garnier de 75............	150	3 Thomson-Houston de 62..........	500	conducteur aérien et trolley......	4 automotrices de 40 places.	2 de 18........	Vitesse : 12 km : heure sur rampe max. Transformation d'une ligne à vapeur.
vapeur à condens. de 160 kw.	320	3 Silvertown.......	200 400	accumulat. Julien et Menges. capacité 100 A-h.	14 automotrices. 2 remorquées..	2 électromoteurs 1 par boggie, rouescouplées	Vitesse moyenne : 20 km : heure.
vap. de 110...	440	2 Th.-Houston de 100 2 Th.-A. triphasées de 120...........	500 3 000 triph.	fil aérien et trolley.	25 automotrices.	2 électromoteurs	2 sous-stations avec transformateurs de 60 kw. pour courant triphasé.
vapeur de 92..	184	3 Thomson-Houston de 80...........	500	conducteur aérien; trolley........	10 automotrices de 24 places.	2 Thomson-H. de 15..........	
vapeur de 110.	220	2 Siemens à pôles intérieurs de 110..	525	conducteur aérien; trolley........	4 automotrices.	2 Siemens de 13,5	Développement projeté de la ligne.
vapeur de 300.	600	2 A. E. G........	500	conducteur aérien.	30 automotrices.	2 électromoteurs	
vapeur de 48..	96	2 Manchest. de 40 à intensité constante de 50 A.........	Var.	»	3 automotrices.	2 de 11.......	Ligne exclusivement expérimentale.
Usine hydraulique de Tivoli......	240	3 transform. rotatifs Ganz de 80......	500	conducteur aérien et trolley......	14 automotrices.	2 Th.-H.. de 11.	Accumulateurs Tudor en dérivation.
Tosi de 110.... Arm.-Sims 110.	220	2 Thomson-Houston de 100..........	500	conducteur aérien; trolley, feeder de 100mm2 de section	13 automotrices de 34 places.	1 Thomson-H. de 11..........	Vitesse en palier : 20 km : heure.
Compound-tandem Tosi..........	200	2 Thomson-Houston de 100..........	500	conducteur aérien et trolley......	6 automotrices.. 8 remorquées..	1 Thomson-H. de 11..........	
vap. Tosi de 66.	130	2 Thomson-Houston.	500	conducteur aérien et trolley......	4 automotrices. 4 remorquées...	2 électromoteurs	
vapeur de 75..	225	3 A. E. G.........	500	conducteur aérien	15 automotrices. 7 remorquées...	2 de 11.......	
1 vap. Farcot de 110...........	110	1 Th.-Houston de 100............	500	conducteur aérien et trolley......	3 automotrices.	2 électromoteurs de 18.......	
»	140	2 Siemens de 65...	500	conducteur aérien.	15 automotrices.	»	

ÉTATS ET VILLES	CONCESSIONNAIRES OU EXPLOITANTS	CONSTRUCTEURS ET SYSTÈMES ADOPTÉS	ANNÉE	LIGNE LONGUEUR	VOIE — NATURE ET LARGEUR	RAILS — TYPE ET POIDS	RAMPE MAXIMA	COURBES RAYON MINIMUM
				km.	m.	kg : m.	p. 100	m.
Russie.								
KIEW...........	Société des tramways de Kiew................	A. E. G. *Système Sprague*....	Mai 1892..	3,0	unique de 1,512......	»	10,5	»
(Prolongement).	Société des tramways de Kiew................	A. E. G. *Système Sprague*....	1894......	7,0	unique de 1,512......	»	6	»
Serbie.								
BELGRADE (Topchider et Sava)...	Compagnie serbe française................	Thomson-Houston....	Juin 1894.	10	simple et double de 1,00	Phénix et Vignole.	10	25
Suisse.								
VEVEY-MONTREUX.	Société électrique de Vevey-Montreux	Kummer et Cie à Dresde.	1887......	10,5	unique de 1,45.......	»	2,9	40
SISSAC-GELTERKINDEN...........	*Sissach-Gelterkinden Bahn*	Ateliers Oerlikon.....	Avril 1891.	3,3	unique de 1,00.......	Vignole de 18 ...	1,5	60
GRUTSCH-MURREN.	*Berner Oberland Bahnen*.................	Ateliers Oerlikon.....	Juillet 1891	4,3	unique de 1,00.......	Vignole de 17,5..	5,0	30
MONT SALVATOR ..	Bucher et Durrer.......	Bucher et Durrer.....	»	1,65	voie simple de 1,00...	Crémaillère Abt de 86 kg.........	60	»
ZURICH..........	*Elektrische Strassenbahn, Zurich*........	Ateliers Oerlikon.....	Mars 1894.	4,6	voie simple de 1,00...	Phénix de 33,6...	6,2	15
	Zentrale Zürichberg-bahn...............	Ateliers Oerlikon.....	Févr. 1895.	3,6	unique de 1,00.......	Horde de 33,8...	6,9	15
CHAVORNAY-ORBE.	Société des Usines de l'Orbe..............	Compagnie de l'Industrie électrique, de Genève............	Avril 1894.	4,0	voie unique normale..	de 20,0 kg......	2.5	15
GENÈVE.								
Petit-Saconnex, Champel.....	Compagnie générale des tramways suisses.....	Compagnie de l'Industrie électrique, de Genève.............	Sept. 1894.	5,6	unique de 1,00.......	Phénix..........	5,5	25
BALE............	Gouvernement du canton de Bâle	Alioth et Siemens et Halske..	Mai 1895..	2,8	»	»	5,0	15
BURGENSTOCK (Burgenstock au lac des Quatre-Cantons [funiculaire])	Bucher et Durrer.......	Compagnie de l'Industrie électrique de Genève.............	1895......	1,0	unique de 1,00 avec crémaillère Abt	Vignole de 22,5..	58	140
STANS (tramway de Stansstadt à Stans)..........	Bucher et Durrer.......	Compagnie de l'Industrie électrique de Genève.............	1895......	2,0	unique de 1,00.......	Vignole de 22,5..	»	»
STANSERHORN (funiculaire de Stans au Stanserhorn, 3 lign.)	Bucher et Durrer.......	Compagnie de l'Industrie électrique de Genève.............	1895......	3,7	unique de 1,00 avec crémaillère Abt.....	Vignole de 22,5..	60	»

MOTEURS — NOMBRE, NATURE ET PUISSANCE	PUISSANCE MOTRICE TOTALE	DYNAMOS — NOMBRE, TYPE ET PUISSANCE	POTENTIEL DE DISTRIBUTION	TRANSMISSION DE L'ÉNERGIE MODE EMPLOYÉ	VOITURES — NOMBRE ET FONCTIONS	ÉLECTROMOTEURS NOMBRE PAR VOITURE ET PUISSANCE	OBSERVATIONS
KW.	KW.	KW.	volts			KW.	
à gaz de 45 ...	90	2 A. E. G.	500	conducteur aérien.	6 automotrices .	2 de 11	
vapeur de 150..	450	6 A. E. G.	500	conducteur aérien.	26 automotrices.	2 de 11	
Corliss	200	2 Thomson-Houston.	500	conducteur aérien et trolley	11 automotrices. 6 remorquées..	2 de 14	La même station sert pour l'éclairage de Belgrade.
turbines Girard de 220	440	2 de 168, de 400 à 600 v.	600	conducteur aérien double	10 automotrices.	»	Matériel construit en majeure partie par la *Societe de Vevey-Montreux*.
turbine Jonval de 30	30	1 compound de 35-40	500	conducteur aérien; trolley	1 locomotive 4 trailers de 24 places	2 de 18,5	Trains d'une locomotive remorquant, 2-3 *trailers* de 24 places; 2 trucks à marchandises. Traction, 0,30 fr : train-km.
turbine Escher-Wyss de 110..	110	1 Brown. comp. de 50	500	conducteur aérien; trolley, 6 feeders de 50 mm²	3 locomotives.. 2 trailers de 40 pl. 2 trucks à marchand..	2 de 22	Train d'une locomotive remorquant 1 *trailer* de 40 places. Traction, 0,20-0,25 fr : train-km.
turbine Escher-Wyss de 90... vapeur de 37...	96	2 Brown de 45	1800	conducteur aérien pour réceptr. Brown actionnant le câble..	voitures de 40 pl.	2 de 45	Voitures mises en action par câble télédynamique recevant son mouvement des électromoteurs placés à mi-côte.
vapeur Oerlikon.	140	2 Brown de 66.....	550	conducteur aérien et trolley	16 automotrices.	1 de 15	Batterie d'accumulateurs sur les 2 lignes.
gaz pauvre Crossley	100	2 Brown de 44....	550	conducteur aérien et trolley	14 automotrices.	2 de 10	Batterie d'accumulateurs de 103 A.h.
Turbine Rieter...	51	1 Thury de 45.....	500	conducteur aérien et trolley	1 locomotive... 2 automotrices..	2 de 30	Nombre de voyageurs transportés de juillet à septembre, 12 600.
turbines de 160 Piccard	322	2 Thury de 160....	550	conducteur aérien et trolley	10 automotrices de 30 places.	1 de 15	Vitesse moyenne: 12 km : heure.
vapeur de 70...	140	2 Siemens de 65...	500	conducteur aérien, retour par rails.	12 automotrices.	»	
	60	2 Thury de 30.....	1600	cond. aérien pour les 2 réceptrices actionnant le câble	2 automotrices de 40 places.	2 Thury de 18.	Voitures mises en action par câbles télédynamiques.
Usine hydraulique primaire sur l'Aa. Turbine Bell de 130	30	1 Thury de 30.....	550	fil aérien avec frotteur	3 automotrices. 3 remorquées ..	1 Thury de 11.	Chaque train transporte 60 personnes. Vitesse : 15 km : heure.
	40	2 Thury de 40......	»	cond. aérien pour les réceptrices actionnant les câbles	3 automotrices de 24 places.	3 Thury de 10.	Chaque réceptrice actionne le câble du tronçon de ligne correspondant.

LIGNES EN CONSTRUCTION EN 1895 ET MISES EN FONCTIONNEMENT

Allemagne. — Barmen-Elberfeld. — Construit par l'U. E. G. Exploité par l'*Elektrische Strassenbahn Barmen-Elberfeld*. Ligne de 11 km. Voie double de 1,435 m. Rails Broca. 65 voitures automotrices à 1 électromoteur. 30 voitures remorquées. La puissance motrice est fournie par la station du chemin de fer de Barmen.

Bergen. — Construit par l'U. E. G. Exploité par la *Gesellschaft für Elektrische Unternehmungen*. Ligne de 5 km. Voie simple de 1 m. Rails Broca. Rampe max., 10 pour cent. 12 voitures automotrices à 2 électromoteurs.

Berlin. — Construit par l'U. E. G. Exploité par la *Grosse Berliner Pferde Eisenbahn Actien Gesellschaft*. Ligne de 13,25 km. Voie double de 1,435 m. Rails Broca. 50 voitures automotrices à 2 électromoteurs. 50 voitures remorquées.

Bromberg. — Construit et exploité par l'A. E. G. Ligne de 4,8 km. Voie de 1 m. Rails Phénix et Haarmann. Rampe max., 4 pour cent. 3 moteurs à vapeur de 120 kw. 2 dynamos A. E. G. 16 voitures automotrices à 2 électromoteurs. 17 voitures remorquées.

Chemnitz. — Construit par l'A. E. G. Ligne de 8 km. Voie de 0,915 m. Rails Phénix. Rampe max., 3,3 pour cent. 1 moteur à vapeur de 120 kw. 2 dynamos A. E. G. 10 voitures automotrices à 2 électromoteurs.

Dantzig. — Construit par l'A. E. G. Ligne de 21 km. Voie de 1,44 m. Rails Phénix. Rampe max., 3,3 pour cent. 3 moteurs à vapeur de 150 kw. 6 dynamos A. E. G. 35 voitures automotrices à 2 électromoteurs.

Dresde. — Construit par l'U. E. G. Exploité par la *Dresdener Strassenbahn Gesellschaft*. Voie double de 1,445 m. 36 voitures automotrices à 1 électromoteur.

Eisenach. — Construit par l'A. E. G. Ligne de 3,8 km. Voie de 1 m. Rails Phénix. Rampe max., 5 pour cent. 5 voitures automotrices à 2 électromoteurs. 4 voitures remorquées. La puissance est fournie par la station centrale. Potentiel de distribution, 500 v.

ELBERFELD. — Construit par l'U. E. G. Exploité par la ville d'Elberfeld. Ligne de 4,25 km. Voie simple de 1 m. Rails Broca. Rampe max., 7 pour cent. Rayon min., 15 m. 12 voitures automotrices à 2 électromoteurs. 2 voitures remorquées. 2 vap. de 110. 2 dynamos Th.-Houston. Fil aérien et trolley. Potentiel de distribution, 500 v.

HAMBOURG. — Construit par l'U. E. G. Exploité par la *Hamburger Strassen-Eisenbahn Gesellschaft*. Réseau de 70 km. Voie double de 1,435 m. Rails Broca. 50 voitures automotrices à 2 électromoteurs. 50 voitures remorquées. Puissance électrique fournie par la station centrale municipale.

KIEL. — Construit par l'A. E. G. Ligne de 18,25 km. Voie de 1,10 m. Rails Bochum. Rampe max., 6,6 pour cent. 3 moteurs à vapeur de 150 KW. 6 dynamos A. E. G. 35 voitures automotrices à 2 électromoteurs. 18 voitures remorquées. Potentiel de distribution, 500 v.

LEIPZIG. — I. Construit par l'A. E. G. Ligne de 44 km. Voie de 1,45 m. Rails Phénix. Rampe max., 2,8 pour cent. 3 moteurs à vapeur de 270 KW. 3 dynamos A. E. G. 70 voitures automotrices à 2 électromoteurs. 50 voitures remorquées.

II. Construit par l'U. E. G. Exploité par la *Grosse Leipziger Strassenbahn*. Ligne de 20 km. Voie double de 1,45 m. Rails Broca. Rayon min., 15 m. 135 voitures automotrices à 1 électromoteur. 75 voitures remorquées. 2 vap. de 500 KW. et 2 vap. de 1.000 KW. 4 dynamos Th.-Houston.

NUREMBERG-FURTH. — Construit par l'A. E. G. Ligne de 46,92 km. Voie de 1,435 m. Rails Haarmann. Rampe max. de 5,5 pour cent. 4 moteurs à vapeur de 120 KW. 8 dynamos A. E. G. 25 voitures automotrices à 2 électromoteurs. 41 à 1 électromoteur.

STETTIN. — Construit par l'A. E. G. Ligne de 36 km. Voie de 1,435 m. Rails Hœrde. Rampe max., 7 pour cent. 3 moteurs à vapeur de 190 KW. 3 dynamos A. E. G. 58 voitures automotrices à 2 électromoteurs. 40 voitures remorquées.

STUTTGARD. — Construit par l'A. E. G. Ligne de 23,3 km.

Voie de 1 m. Rails Haarmann et Hartwig. Rampe max., 5,8 pour cent. 36 voitures automotrices à 2 électromoteurs. 21 voitures remorquées. La puissance est fournie par la station centrale. Potentiel de distribution, 500 v.

Angleterre. — BRIGHTON-ROTTINGDEAN. — Construit par *The Brighton and Rottingdean-Seashore Railway C°*. Ligne de 4,8 km. Fil aérien et trolley.

HARTLEPOOL. — Construit par *The Electric Construction C°*. Ligne de 4 km. Fil aérien et trolley.

LONDRES (City and Shepherd's Bush). — Construit par *The Central Railway London C°*. Ligne de 10 km.

WATERLOO-CITY. — Construit par *The South Western Railway C°*. Ligne de 2,5 km.

Autriche-Hongrie. — AIBLING. — Construit par l'*Altien-Gesellschaft Elektricitatswerke*. Ligne de 12,3 km. Voie de 1,44 m. Rails Vignole. Rampe max., 1,8 pour cent. Turbine Franzis de 110 KW. 2 dynamos à 6 pôles. Potentiel de distribution, 400 v. 22 voitures automotrices, 14 remorquées.

Belgique. — BRUXELLES. — Construit par l'U. E. G. Exploité par la *Société anonyme des tramways bruxellois*. Ligne de 7,9 km. Voie double de 1,435 m. Rails Broca. Rayon min., 30 m. 22 voitures automotrices à 2 électromoteurs. 22 voitures remorquées. Conducteur souterrain.

Espagne. — BILBAO (Las Arenas y Algorta). — Construit par l'A. E. G. Exploité par la *Sociedad Colectiva J. J. Aman y Ca*. Ligne de 18 km. Voie de 1,365 m. Rails Demerbe et Phénix. Rampe max., 5 pour cent. 11 voitures automotrices à 1 électromoteur. 3 voitures automotrices à 2 électromoteurs. 35 voitures remorquées. La puissance est fournie par l'usine de la ligne Bilbao-Santurce.

France. — ALGER. — Construit par la Thomson-Houston. Exploité par la *Société des omnibus et tramways en Algé-*

rie. Ligne de 7,3 km. Voie simple de 1 m. Rails Broca de 36 kg. Rampe max., 6 pour cent. Rayon min., 18 m. 15 voitures automotrices à 2 électromoteurs. 8 voitures remorquées. 3 vapeur de 110 KW. 3 dynamos Thomson-Houston. Potentiel de distribution, 550 v.

ANGERS. — Construit par la Compagnie de Fives-Lille. Exploité par la *Société des tramways électriques d'Angers*. Ligne de 28 km. Voie double de 1 m. Rails Marsillon. Rampe max., 6,5 pour cent. Rayon de courbure min., 20 m. 3 moteurs à vapeur de 190 KW. 3 dynamos, hypercompoundées à 10 pôles. Fil aérien et trolley. 30 voitures automotrices, 10 à 2 électromoteurs de 11 KW. 10 voitures remorquées. Potentiel de distribution, 550 v.

BORDEAUX. PESSAC. — Construit par la Thomson-Houston. Exploité par la *Compagnie des tramways de Bordeaux-Pessac*. Ligne de 5,5 km. Voie simple de 1 m. Rails Broca de 36 kg. Rampe max., 3 pour cent. Rayon min., 20 m. 9 voitures automotrices à 2 électromoteurs. 4 voitures remorquées. 2 vapeur de 100 KW. 2 dynamos Thomson-Houston de 100 KW. Potentiel de distribution, 550 v.

LIMOGES. — Construit par la maison Grammont. 11 km. de ligne. Voie de 1,44 m. 20 voitures automotrices à 2 électromoteurs à 50 places. Potentiel de distribution, 500 v.

PARIS. — ROMAINVILLE. — Ligne de 5 km. Distribution par contacts isolés système Claret-Vuilleumier. 3 machines Lecouteux et Garnier de 150 KW. 3 dynamos Hillairet. Voitures automotrices à 2 électromoteurs Hillairet. Potentiel de distribution, 550 v. Ligne souterraine retour par rails.

ROUBAIX-TOURCOING (extension extérieure). — Construit par la Compagnie française Thomson-Houston. Exploité par la *Compagnie nouvelle des tramways de Roubaix-Tourcoing*. Ligne de 12 km. Voie simple de 1 m. Rails Broca de 36 kg. (4 km. forment le doublement d'une voie déjà en exploitation à simple voie).

ROUEN. — Construit par la Compagnie française Thomson-Houston. Exploité par la *Compagnie des tramways de*

Rouen. Réseau de 40 km. Voie simple et double de 1,44 m. Rails Broca de 44 kg. Rampe max., 5 pour cent. Rayon min., 20 m. 55 voitures automotrices à 2 électromoteurs. 3 vapeur de 300 KW. 3 dynamos Thomson-Houston. Potentiel de distribution, 550 v.

VERSAILLES. — Construit par la Compagnie française Thomson-Houston. Exploité par la *Société versaillaise de tramways électriques et de distribution d'énergie*. Ligne de 13,5 km. Voie simple et double de 1,44 m. Rails Broca de 36 kg. Rampe max., 3,5 pour cent. Rayon min., 18 m. 15 voitures automotrices à 2 électromoteurs. 12 voitures remorquées. 2 vapeur de 200 KW. 2 dynamos Thomson-Houston. Potentiel de distribution, 550 v.

Irlande. — DUBLIN. — DALKEY. — Construit par la Compagnie des tramways de Dublin. Ligne de 13 km. Fil aérien et trolley.

Italie. — GÊNES. — I. Construit par l'A. E. G. Exploité par la *Società di Ferrovie Elettriche e Funicolari*. Longueur de la ligne de 9,8 km. Voie de 1 m. Rails Phénix. Rampe max., 8 pour cent. 18 voitures à 2 électromoteurs. La puissance est fournie par la station centrale. Potentiel de distribution, 500 v.

II. Construit par l'A. E. G. Exploité par la *Società dei Tramways Orientali*. Longueur de la ligne, 14,5 km. Voie de 1 m. Rails Phénix. Rampe max., 5 pour cent, 25 voitures automotrices à 2 électromoteurs. 8 voitures remorquées. La puissance est fournie par la station centrale. Potentiel de distribution, 500 v.

III. DORIA-PRATO. — Construit par l'A. E. G. Exploité par la *Società di Ferrovie Elettriche e Funicolari*. Ligne de 5 km. Voie de 1 m. Rails Phénix. Rampe max., 2 pour cent. 8 voitures automotrices à 2 électromoteurs. La puissance est fournie par la station centrale. Potentiel de distribution, 500 v.

MILAN-VILLE. — Construit par la Thomson-Houston.

Exploité par la *Società generale Italiana di Elettricita Sistema Edison*. Réseau de 62 km. Voie simple et double de 1,44 m. Rails Phénix de 43 kg. 200 voitures automotrices à 1 électromoteur. 4 moteurs à vapeur de 500 KW, 4 dynamos Thomson-Houston. Potentiel de distribution. 550 v.

Russie. — NIJNI-NOVOGOROD. — Construit par les Ateliers de construction d'Oerlikon. Ligne de 3,5 km. Voie de 1 m. Rampe max., 4 pour cent. Rayon de courbure min., 25 m. Rails Phénix de 33,6 kg. 3 moteurs à vapeur Escher Wyss et Cie. Puissance motrice totale, 330 KW. 3 dynamos de 100 KW. 15 voitures automotrices à 2 électromoteurs de 9 KW.

Suisse. — LAUSANNE. — Ligne de 7,8 km. dont 1,45 km. en voie double. Moteur à gaz Crossley de 100 KW. Dynamos Thury. Voitures à 2 électromoteurs de 15 KW.

LIGNES EN PROJET

Allemagne. — DUISBOURG. — KARLSRUHE. — HALLE (extension). — BRESLAU (extension). — GŒRLITZ. — BRAUNSCHWEIG. — GLADBACH-RHEYDT-ODENKIRCHEN. — METZ.

Angleterre. — BIRMINGHAM. — BLACKPOOL. — BRAY. — COLWYN-BAY. — DERBY-ASHBOURNE. — DOUVRES. — DUBLIN. — HALIFAX. — KIDDERMINSTER. — STOURPORT. — LEEDS. — LIVERPOOL. — LONDRES. — NORTH-STAFFORDSHIRE. — PORTSMOUTH. — SHEFFIELD. — SWANSEA.

Belgique. — LIÈGE.

Espagne. — MADRID. — BARCELONE. — CADIX. — SÉVILLE. — SAINT-SÉBASTIEN.

France. — PARIS. — AMIENS. — BESANÇON. — BREST. — BELFORT. — LORIENT. — BORDEAUX (réseau complet).

— Sérignan. — Pierrefite-Luz. — Cannes. — Arcachon. — Le Creusot. — Cherbourg. — Nantes. — Le Havre (extension). — Roubaix (extension). — Avignon. — Lyon (tout le réseau). — Gérardmer-Retournemer. — Charleville. — Sedan. — Montpellier.

Italie. — Cagliari. — Gênes (extension). — Livourne.

Russie. — Kiew (extension). — Saint-Pétersbourg. — Moscou.

Suisse. — Nyon. — Saint-Gall. — Lucerne (le Sonnenberg).

CHAPITRE II

RENDEMENT FINANCIER DES ENTREPRISES DE TRAMWAYS ÉLECTRIQUES

Considérations générales. — Rapport du Board of Railroad de l'État de Massachusetts. — Discussion de ce rapport. — Dividendes moyens donnés par les Compagnies américaines. — Revenu probable d'une ligne donnée. — Détermination du point critique où la traction électrique devient plus économique que la traction animale : formule. — Quelques résultats financiers obtenus sur des lignes existantes : Bilan de la Société des tramways de Clermont-Ferrand, de Dijon. — Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston. — Bilan des tramways de Hamburg, d'Erfurt, de Budapest.

Considérations générales. — L'un des points les plus intéressants (le plus intéressant peut-être, au point de vue pratique) de l'exploitation des tramways électriques est le *rendement financier* de ces entreprises de transport en commun. Ces renseignements sont d'autant plus intéressants à connaître que, pour différentes raisons faciles à comprendre, il y a une réelle difficulté à réunir des documents vrais sur cette question ; ce qui n'est pas pour simplifier une tâche déjà peu commode.

En Europe, au début de l'exploitation de ce système, les capitaux furent craintifs, malgré l'exemple donné par les Etats-Unis où l'on comptait par centaines de millions les capitaux engagés dans les installations de traction électrique. Depuis ces dernières années, les personnes bien informées ont compris tout le bénéfice qu'on pourrait retirer, au point de vue financier, de l'exploitation des transports en commun

par ce système, et plusieurs Sociétés importantes se sont constituées.

Il résulte de cette situation que, pour les résultats financiers obtenus que nous essaierons de donner, presque tous les renseignements ont été pris dans des exploitations américaines.

Toutefois, comme nous avons vu que les prix de premier établissement et de revient, obtenus en Europe, étaient comparables à ceux obtenus aux Etats-Unis, nous pourrons éventuellement, et après comparaison des conditions dans lesquelles on se trouve, appliquer les résultats financiers obtenus dans ce pays, à ceux que l'on obtiendrait en France, dans des conditions semblables.

Nous appelons cependant l'attention sur un point important, qui différencie les deux contrées envisagées et qui est spécialement applicable en France.

En Europe, on donne des concessions, à durée limitée, qui sont, en France, de courte durée.

Ce fait n'existe pas en Amérique et particulièrement aux États-Unis, où le monopole est inconnu et où la concurrence seule existe, chacun ayant le droit d'établir et d'exploiter à ses risques, soit une ligne de tramways, soit même un réseau de chemins de fer.

Cette considération de durée de concession a une grande importance, car les charges fixes d'amortissement et d'intérêts du capital engagé dans l'entreprise en dépendent. Nous sommes donc, par rapport aux Américains, dans une situation inférieure.

Bien d'autres raisons accentuent encore cet état de choses, et parmi celles-ci on pourrait citer les difficultés soulevées par l'Administration supérieure dont dépendent l'obtention des concessions, la surveillance et le contrôle des lignes et qui, en se confinant dans une routine bien connue, crée des difficultés aux personnes actives, intelligentes et de bonne volonté, au lieu de les aider dans l'établissement de moyens de transport dont tout le monde profitera : les financiers par le bénéfice rémunérateur qu'ils y trouveront, le public par la commodité et le confort augmentés. Quoi qu'il en soit,

nous allons donner les documents et les renseignements que nous avons pu recueillir sur cette intéressante question.

Le rendement financier des entreprises de traction électrique peut varier dans de grandes proportions, suivant le pays considéré, quoique les conditions d'exploitation soient à peu près comparables.

Ainsi, en comparant les résultats obtenus à Londres et à Boston, avec des lignes présentant à peu près la même longueur, 430 kilomètres pour Londres et 400 kilomètres pour Boston, on a les résultats suivants :

EXERCICE 1892-1893	BOSTON	LONDRES
Nombre de voitures-kilomètres........	35.000.000	30.000.000
Recettes totales......................	33.625.000	26.875.000
Dépenses totales d'exploitation........	23.000.000	22.250.000
Dépenses en pour cent des recettes....	68	82,7
Capital engagé dans l'entreprise.......	111.250.000	88.750.000
Dividende en pour cent...............	9	3,3

Comme on le voit, le dividende est presque trois fois plus important à Boston qu'à Londres, dans des conditions d'exploitation *assez comparables*. On peut remarquer qu'avec un capital et des recettes différentes, les dépenses *totales* ont été sensiblement les mêmes dans les deux villes : il faut chercher la raison de ce fait dans la meilleure administration qui est pratiquée à Boston.

Comme c'est en Amérique et particulièrement aux États-Unis, que les transports en commun par traction électrique ont pris naissance et sont le plus développés, c'est là, comme nous le disions plus haut, qu'il faut puiser actuellement pour se renseigner et se faire une opinion sur le rendement financier des entreprises de traction électrique.

Cette question a préoccupé en Amérique depuis quelques années les gens sérieux, qui se sont écartés volontairement de la spéculation qui a été faite sur les tramways électriques et qui ont recherché impartialement quelles conclusions on pourrait tirer des exploitations électriques déjà si nombreuses et si importantes dans ce pays.

C'est dans ce sens qu'a été fait le rapport du Board of Railroad de l'Etat de Massachusetts.

Comme nous le verrons, les conclusions de ce rapport sont un peu sévères pour l'avenir de la traction électrique, appliquée aux tramways. Quoi qu'il en soit, c'est là une œuvre utile, qui a eu pour but d'enrayer la spéculation effrénée que des hommes d'affaires peu scrupuleux avaient déjà faite sur l'application de ce nouveau mode de traction aux lignes de tramways à chevaux.

Pour permettre au lecteur de bien comprendre les conclusions *un peu pessimistes* de ce rapport, nous en donnons dans les lignes suivantes une traduction *in extenso*.

Rapport des commissaires du Board of Railroad. — « Il est encore trop tôt pour donner des conclusions exactes et définitives sur l'économie de la force motrice électrique comparée à la traction animale, en fait de tramways. Et cependant, il est à souhaiter, pour le capitaliste et pour le public, qu'une opinion moyenne se fasse aussi rapprochée que possible de la vérité, et que les idées fausses ou exagérées soient redressées, dans le cas où elles auraient gagné du terrain.

« Il ne s'agit pas ici de déterminer si l'électricité est un succès en tant que force motrice ou si, tenant compte de la commodité, du confort et de la rapidité du voyage d'un côté, et de l'autre de l'encombrement, du danger que courent les voyageurs, la traction électrique est préférable, tout compte fait, à la traction animale. La question est de savoir si ce mode de traction assure un plus grand rendement des capitaux engagés, et par là, une diminution future possible des prix de transport, de façon à être, au bout d'un certain temps, plus rémunératrice pour l'actionnaire et plus économique pour le public.

« C'est dans ce but qu'ont été dressés les quatre tableaux suivants, relatifs à l'année 1893-1894.

RAPPORT DES DÉPENSES D'EXPLOITATION AUX RECETTES BRUTES

ANNÉES	RECETTES BRUTES	DÉPENSES D'EXPLOITATION	POURCENTAGE
1884	24 623 935	19 299 050	78,4
1885	26 054 445	20 847 645	83,0
1886	29 512 460	23 621 255	80,0
1887	32 545 360	26 952 010	82,8
1888	34 803 020	28 220 265	81,0
1889	38 370 235	30 083 900	78,4
1890	42 575 255	31 845 460	74,8
1891	44 195 390	34 416 145	76,1
1892	49 960 110	35 851 345	71,7
1893	55 244 010	38 259 410	69,2
MOYENNES..	37 889 620	28 938 155	76,3

RECETTES BRUTES ET NETTES PAR KILOMÈTRE DE VOIE CONSTRUITE ET PAR VOITURE-KILOMÈTRE

ANNÉES	MOYENNES PAR KILOMÈTRE			MOYENNES PAR VOITURE-KILOMÈTRE		
	RECETTES BRUTES EN FRANCS	DÉPENSES D'EXPLOITATION EN FRANCS	RECETTES NETTES EN FRANCS	RECETTES BRUTES EN FRANCS	DÉPENSES D'EXPLOITATION EN FRANCS	RECETTES NETTES EN FRANCS
1884	48 362	37 900	10 462	9,07	7,27	2,00
1885	45 505	36 410	9 095	8,77	7,02	1,75
1886	43 018	34 220	8 793	9,18	7,35	1,83
1887	42 078	34 820	7 258	9,65	8,00	1,76
1888	39 647	32 145	7 502	9,16	7,43	1,73
1889	40 520	31 850	8 670	9,70	8,02	1,64
1890	41 005	31 520	10 485	9,82	7,44	2,37
1891	40 853	31 100	9 753	9,99	7.60	2,38
1892	32 041	28 870	3 171	9,99	7,40	2,91
1893	36 447	26 605	9 842	9,79	6,75	3,01
MOYENNES..	41 543	31 650	9 893	0,963	0,735	0,227

« Les tableaux précédents ont été établis dans le but principal de jeter sur la question à résoudre autant de lumière que les faits et les statistiques peuvent le permettre. Ces tableaux s'étendent à la période décennale comprise entre

1884 et 1893. Durant la première moitié de cette période les tramways étaient entièrement à traction animale, tandis que dans la deuxième période la traction animale a été si rapidement remplacée par l'électricité que déjà plus des quatre cinquièmes de la longueur des tramways sont équipés de cette façon.

« La comparaison suivante des années 1893 et 1888 donne donc l'idée la plus exacte des résultats financiers réalisés jusqu'à présent par les deux systèmes.

REVENUS ET DÉPENSES EN	1888	1893	POURCENTAGE
Revenu net par voyageur transporté	4,89 centimes	7,96 centimes	62,5
Revenu net par voiture-kilomètre parcouru	17,34 centimes	30,11 centimes	73,5
Revenu net par voyage	2,64 francs	3,77 francs	85
Revenu net par kilomètre de voie	7.550 francs	11.890 francs	57,4
Dépense de construction par kilomètre	105.100 francs	168.500 francs	60,2
Capitalisation par kilom.	104.000 francs	166.500 francs	65,2

« Les augmentations de bénéfices nets par voyageur, par voiture-kilomètre et par voyage, qui varient de 62 à 85 pour cent en faveur de 1893, semblent, à première vue, très frappantes et, si c'étaient les seuls éléments à envisager dans la question, le succès financier de la traction électrique pourrait être proclamé immédiatement, non seulement comme assuré, mais aussi comme merveilleux ! Mais il y a d'autres facteurs importants et décisifs qui ne doivent pas être oubliés.

« Tout d'abord, une augmentation des bénéfices nets doit être rapprochée de l'augmentation des dépenses. L'industriel, dont la nouvelle usine gagnerait deux fois plus que l'ancienne, n'a rien gagné si la nouvelle lui coûte deux fois plus également que l'ancienne. Aussi le critérium le plus concluant consiste-t-il à comparer l'augmentation des béné-

fices nets par kilomètre et celle des dépenses de construction. En suivant cette méthode, l'on verra que, tandis que les bénéfices nets par kilomètre ont été de 57 pour cent plus grands, les dépenses ont été respectivement de 60 et 65 pour cent plus élevées pour 1893 qu'en 1888 : ce qui fait manifestement pencher la balance du côté de la traction animale.

« En second lieu, on doit considérer que les tramways électriques sont de construction récente. Toutes les dépenses qui les concernent ont été portées au compte de premier établissement, et non pas à celui de l'exploitation. Comme il arrive pour une maison nouvellement construite et agencée, dans laquelle les réparations sont relativement peu élevées pendant les premières années, la dépense d'entretien des tramways électriques a été jusqu'ici relativement faible et les bénéfices nets d'exploitation ont été, par contre, élevés. C'est ce qui explique, en grande partie, sinon entièrement, la réduction extraordinaire du coefficient d'exploitation pendant les deux ou trois dernières années.

« La production et la distribution de la force motrice électrique demandent des machines coûteuses et des appareils nombreux et compliqués, qui doivent être maintenus en parfait état d'entretien. L'usure de la voie et de la ligne sera augmentée par le poids du matériel roulant du nouveau système. A mesure qu'on s'éloignera de la période de construction, les dépenses de reconstructions et de réparations ne pourront qu'augmenter. On ne pourra se rendre compte des bénéfices nets du nouveau mode de traction que lorsqu'une expérience suffisamment prolongée aura fait ressortir la dépense normale d'entretien de cette traction.

« Une autre comparaison peut être faite des deux modes de traction en considérant les disponibilités des Compagnies pendant les deux périodes considérées. Le tableau suivant donne l'actif, le passif et la différence qui constituent les disponibilités.

ANNÉES	ACTIF	PASSIF	DISPONIBILITÉS	POUR-CENTAGE
1884	68 594 010	63 294 220	5 299 790	13,4
1885	72 749 015	66 814 690	5 934 325	14,4
1886	81 384 525	74 410 915	6 973 610	15,0
1887	91 332 605	84 177 810	7 154 795	13,9
1888	97 952 945	94 166 915	3 786 030	6,8
1889	109 479 765	105 773 390	3 706 375	5,9
1890	134 220 830	130 621 145	3 599 685	4,7
1891	161 967 325	159 174 920	2 782 405	2,9
1892	201 122 030	197 853 560	4 268 470	3,55
1893	255 666 400	252 907 410	2 758 990	2,09

« La moyenne des disponibilités pendant les cinq années qui ont précédé l'introduction de l'électricité comme force motrice, a été de 12,45 pour cent de l'actif, tandis que pour les cinq années qui correspondent à son introduction, cette disponibilité est diminuée graduellement jusqu'à une moyenne de 3,51 pour cent, le nombre le plus bas 2,09 pour cent, étant précisément celui de la dernière année.

« En regard de ces disponibilités, le tableau suivant donne les dividendes distribués :

ANNÉES	CAPITAL-ACTION	BÉNÉFICE NET	DIVIDENDE	POURCENTAGE
1884	39.434.200	3.557.100	2.264.860	5,74
1885	41.193.210	3.254.924	2.515.925	6,38
1886	46.540.790	4.035.810	4.519.760	5,41
1887	51.394 990	3.306.750	2.607.695	5,26
1888	55.563.735	4.003.540	3.190.650	5,74
1889	62.682.775	5.220.365	4.277.110	6,82
1890	75.783.565	7.293.590	4.912.240	6,47
1891	99.620.155	6.615.680	5.613.040	5,63
1892	110.313.235	9.718.970	8.071.755	6,71
1893	132.006.235	10.066.335	8.754.850	6,63

« On voit par ce tableau que le dividende moyen des cinq dernières années, 6,44 pour cent, a excédé celui des cinq premières années, 5,66, de près de 1 pour cent. Le rapprochement de ce tableau et du précédent montre que les

Compagnies de transport ont plus diminué leurs disponibilités qu'elles n'ont augmenté leurs dividendes.

« Nous devons conclure de là, tout bien considéré, qu'il n'est, jusqu'à présent, *nullement prouvé que la traction électrique assure des bénéfices nets supérieurs : c'est plutôt le contraire qui a lieu.* Cela n'est pas dit, toutefois, pour prétendre que la traction électrique soit ruineuse, car les résultats qui seront obtenus après le développement complet de ce mode de traction différeront probablement très peu de ceux qui s'appliquent à la traction animale ou à vapeur.

« Un tramway électrique bien situé et bien administré nous paraît avoir les mêmes chances de succès qu'un tramway à vapeur ou à chevaux ; mais, d'après les données actuelles, il n'en a certainement pas de meilleures. Si le tramway est établi dans de mauvaises conditions et mal administré, ce n'est pas l'emploi de l'électricité qui le sauvera de la destinée qu'il aurait eue avec un autre mode de traction.

« On peut et on doit dire sans hésitation que la traction électrique n'a pas donné une moyenne de bénéfices qui permette d'assurer autre chose qu'un rendement ordinaire aux capitaux engagés. L'idée, qui a obtenu quelque faveur, que cette traction est un filon d'une richesse inépuisable est manifestement fausse.

« Cette traction ne se prête pas à des entreprises de spéculation, à moins qu'elles ne soient faites par des hommes peu scrupuleux, qui abusent de la crédulité d'un public mal informé.

« Dans une administration prudente, il convient de mettre, chaque année, une partie assez importante des bénéfices en réserve, de façon à parer aux événements imprévus et aux dépenses exceptionnelles. C'est ainsi que les directeurs de la West-End Company, de beaucoup la plus grande et la mieux dirigée des Compagnies de tramways, ont agi sagement, à tous points de vue, en réduisant de leur plein gré le dividende des actions. Une telle manière de faire n'a pu qu'augmenter la valeur de l'action pour le capitaliste avisé. »

Discussion de ce rapport. — Comme on le voit, les conclusions qui précèdent ne sont pas à l'avantage de la traction électrique, qui semblerait, par ce document, n'avoir pas donné ou ne pouvoir donner tout ce qu'on en avait attendu.

Cependant, nous ferons remarquer qu'à ce jugement un peu sévère l'on peut facilement trouver des circonstances atténuantes. Le principal argument qu'on peut opposer, c'est que les *lignes électriques* actuellement exploitées en Amérique sont d'*anciennes lignes à traction animale*, de sorte que la substitution du nouveau mode de traction à l'ancien a entraîné des dépenses de *premier établissement, beaucoup plus importantes* que si la traction électrique avait été installée tout d'abord : d'où une réduction sensible du dividende, qui est la touche sensible pour un juge impartial. Ce qui démontre facilement ce fait, c'est que l'augmentation des dépenses a été de 60 pour cent, tandis que les bénéfices nets n'étaient que de 57 pour cent. De plus, les principales lignes, celles à grand trafic, ont été prises tout d'abord par la traction animale, et les lignes médiocres sont seules restées à la traction électrique, c'est ce qui explique que le trafic moyen des premières est plus grand que celui des secondes.

Rappelons que ce rapport avait pour but, comme nous l'expliquions plus haut, d'appeler l'attention des intéressés sur l'agiotage certain que des spéculateurs voulaient faire sur les lignes à traction électrique, et on peut féliciter les membres de la Commission, qui a élaboré ce rapport, d'avoir enrayé un emballement dont le mouvement était déjà très accentué : à ce point de vue, il a été fait œuvre utile; mais, pour être d'accord avec les conclusions ci-dessus, nous estimons qu'il faut attendre encore quelques années, ce qui est, en somme, l'avis de la Commission, qui le dit au commencement de son rapport, car alors, en Europe et en France, particulièrement, on pourra apprécier quelle valeur intrinsèque peuvent avoir les capitaux engagés dans des affaires de traction électrique.

Pour nous placer au même point de vue que celui du rap-

port ci-dessus, signalons, en Europe et en France, spécialement, une tendance assez accentuée à la spéculation sur le nouveau mode de traction, et espérons qu'au moment nécessaire les personnes intéressées et sérieuses sauront démasquer des manœuvres peu recommandables qui, relatées dans l'histoire financière des applications de l'électricité, ont compromis, il y a quelques années, le succès des stations centrales destinées à l'éclairage électrique. Espérons que des tentatives semblables ne se renouvelleront pas pour enrayer ce nouveau mode de transport en commun qui, raisonnablement et judicieusement appliqué, peut donner des bénéfices sûrs et rémunérateurs pour les capitalistes et augmenter le bien-être des populations, en leur donnant un moyen de transport confortable, commode et bon marché.

Dividendes moyens donnés par les Compagnies américaines et les Sociétés françaises. Capitaux engagés. — En consultant les rapports officiels venus d'Amérique, on trouve que la moyenne du dividende payé pour l'exercice 1895 a été de 5,85 pour cent : il avait été de 6,10 en 1894.

Sur 75 Compagnies exploitantes, 33 ont donné des dividendes un peu plus élevés que celui de la moyenne : les dividendes les plus forts ont varié de 9 à 12 pour cent.

D'autres sources indiquent que 89 pour cent des lignes électriques ont rapporté de 5 à 12 pour cent.

Quoi qu'il en soit, nous donnerons la comparaison entre les résultats de statistiques faites en 1892 aux États-Unis, dans les trois Etats de Massachusetts, New-York et de Pensylvanie et les résultats obtenus en France [1].

Les résultats, pour la France, ont été pris dans les statistiques publiées par le Ministère des Travaux publics, et cela, en 1895, car en 1892 les résultats donnés par les tramways électriques, en France, étaient mal connus.

[1] *Les Tramways en Amérique*, de M. Tavernier.

ÉTATS	KILOMÈTRES		DÉPENSES de premier établissement par kilomètre en francs	RECETTES par kilomètre en francs	DÉPENSES d'exploitation par kilomètre en francs	COEFFICIENT d'exploitation	REVENU en pour cent des capitaux engagés
	Construits	Exploités					
A. — ÉTATS-UNIS (AMÉRIQUE)							
Pensylvanie...	860	860	165.730	29.590	16.187	0,56	7
Massachusetts.	328	346	169.515	29.365	21.703	0,74	4,7
New-York.....	268	464	251.000	20.082	13.888	0,69	4,3
Totaux ou moyennes..	1.456	1.670	195.415	26.346	17.259	0,66	5,3
B. — FRANCE							
France........	—	20	365.113	46.575	25.000	0,54	6,05

D'autre part, M. E. Higgins a compulsé, en Amérique, les résultats d'exploitation de 232 Compagnies faisant de la traction électrique, et cela pour l'exercice 1894-1895.

Son travail se résume ainsi: Ces 232 Compagnies représentent une longueur de ligne de 8.240 kilomètres, soit environ les 38 pour cent de la longueur totale des lignes de tramways de tous systèmes installés aux Etats-Unis.

Le capital total engagé dans ces exploitations est de 3 milliards 79 millions 415.000 francs, divisé en:

Capital-actions........	1.647.163.150 fr.
— obligations....	1.432.251.850
	3.079.415.000 fr.

Le capital total engagé dans les entreprises de traction de tous systèmes étant de 6 milliards, celui engagé dans les tramways électriques est donc les 46 pour cent du capital total.

M. Higgins a résumé les différentes données de son travail dans un tableau analogue au précédent où l'on a :

KILOMÈTRES exploités	PAR KILOMÈTRE EN FRANCS			COEFFICIENT d'exploitation	REVENU en pour cent des capitaux engagés
	Dépenses de premier établissement	Recettes	Dépenses d'exploitation		
8.240	375.000	53.200	31.500	0,60	5,3

On voit que les chiffres moyens obtenus en France peuvent être rapprochés de ces derniers chiffres donnés par M. Higgins, qui sont cependant un des plus favorables en Amérique, au point de vue du revenu. Remarquons cependant que les dépenses annuelles d'exploitation par kilomètre sont assez réduites en France et, si le revenu y est inférieur de 1 pour cent environ, il faut en chercher la raison dans les faits que nous avons relatés dans les considérations générales, exposées au commencement de ce chapitre.

Quoi qu'il en soit, il semble résulter de ce qui précède que le rendement financier des entreprises de tramways électriques soit limité à une juste proportion et que ce nouveau mode de traction ne sera pas, comme beaucoup l'ont dit, une poule aux œufs d'or. Remarquons, cependant, que pour des entreprises aussi nouvelles ayant un fort capital à *rémunérer*, le résultat est encourageant, et qu'il sera amélioré en pratiquant une bonne administration et en perfectionnant constamment les moyens de production. Nous ne saurions trop appeler l'attention sur ce fait que le succès de ces entreprises dépend presque uniquement d'une administration sage et économe, qui sait supprimer tous les rouages inutiles, où les sinécures n'existent pas et où chaque individualité, ayant sa raison d'être par les services qu'il rend, donne le maximum de l'effort qu'on est en droit de lui demander. Pour arriver à ce but, il suffira d'employer un

personnel capable d'initiative, de le bien payer et de l'intéresser *effectivement* dans une participation des bénéfices résultant de l'entreprise.

Pour donner l'opinion moyenne que les gens sérieux et compétents ont sur cette importante question du rendement financier, nous renvoyons le lecteur au rapport du Railroad Commisionners que nous donnons plus haut.

Nous compléterons ces indications en donnant les recettes brutes par voiture-kilomètre, obtenues en Amérique.

Recette brute et nombre de voyageurs transportés par voiture-kilomètre. — Les statistiques américaines nous permettent seules de déterminer cet élément; si l'on consulte celles qui ont été publiées, on peut les résumer dans le tableau suivant [1].

ANNÉES	NOMBRE DE LIGNES	LONGUEURS EXPLOITÉES en kilomètres	NOMBRE DE VOYAGEURS TRANSPORTÉS PAR KILOMÈTRE			RECETTES BRUTES par	
			Minimum	Maximum	Moyenne	KILOMÈTRE	VOYAGEUR
			ÉTAT DE MASSACHUSETTS (VOIES)				
1892	19	229,52	3 461	140 215	62 885	17 742	0,28
1893	29	508,56	4 536	142 929	75 164	19 703	0,26
			NEW-YORK (VOIES)				
1892	19	219,23	6 838	146 828	46 514	16 441	0,35
1893	28	696,33	6 962	196 031	51 307	13 388	0,26
			NEW-YORK (LIGNES)				
1892	19	164,82	6 838	262 031	64 199	21 863	0,35
1893	28	464,82	6 982	351 252	78 139	20 132	0,26
			PENSYLVANIE (LIGNES)				
1892	34	457,00	4 902	435 276	127 089	37 447	0,30
1893	54	856,83	10 095	341 758	93 963	29 703	0,32

[1] *Les Tramways en Amérique*, de M. Tavernier.

Détermination du point critique où la traction électrique devient plus économique que la traction animale. — On peut se demander, étant données plusieurs lignes à trafic déterminé, et connaissant l'importance du trafic, à quel moment la substitution de la traction électrique à la traction animale devient avantageuse : c'est ce moment que nous appellerons le *point critique de substitution.* On peut facilement trouver une relation simple qui détermine ce point en remarquant, comme l'a fait M. Tavernier, que, parmi les éléments qui constituent les dépenses d'exploitation dans les deux modes de traction, on voit qu'une partie des frais généraux, de l'entretien général (voie et matériel), des frais de personnel, reste *constante*, quel que soit le trafic, et qu'on peut prendre cette part égale à 15 pour cent du prix total des dépenses d'exploitation. Ces 15 pour cent varient, par conséquent, en raison inverse du trafic x, exprimé en voitures-kilomètres et aussi des charges fixes : les 85 autres pour cent du prix total restant invariables. Pour plus de simplicité, rapportons tout cela au prix de la voiture-kilomètre que nous prendrons égal, pour la traction animale, à p centimes et pour la traction électrique égal à p' centimes : t et t' étant les charges fixes en pour cent, pour chaque mode de traction. Soit x le nombre de voitures-kilomètres, *par kilomètre de voie*, pour lequel les dépenses d'exploitation, pour les deux modes de traction, sont équivalentes. Si l'on prend, comme moyenne, un nombre de voitures-kilomètres égal à 20.000 pour la traction animale et à 70.000 pour la traction électrique, on a la relation simple suivante :

$$0{,}85 \times p + (0{,}15 \times p + t)\,\frac{20.000}{x} = 0{,}85p' + (0{,}15 \times p' + t')\,\frac{70.000}{x}$$

En simplifiant cette expression, elle devient :

$$0{,}85.x\,(p - p') = [0{,}15 \times p' + t']\;70.000 - [0{,}15 \times p + t]\;20.000$$

d'où la valeur de x :

$$(1)\quad x = \frac{(0{,}15 \times p' + t')\;70.000 - (0{,}15.\;p + t)\;20.000}{0{,}85\;(p - p')}$$

Si, pour donner un exemple, l'on prend le prix de la voiture-kilomètre p égal à 0 fr,50 pour la traction animale avec une charge fixe t de 15 pour cent et le prix p' égal à 0 fr. 40 pour la traction électrique avec une charge fixe t' de 8 pour cent.

On a :

$$x = \frac{[0{,}15 \times 0{,}40 + 0{,}08]\ 70.000 - [0{,}15 \times 0{,}50 + 0{,}15]\ 20.000}{0{,}85 \times [0{,}50 - 0{,}40]}$$

$$= \frac{9.800 - 4.500}{0{,}085}$$

$$x = 62.353 \text{ voitures-kilomètres.}$$

On voit que, pour le cas choisi, il est intéressant de faire la transformation du mode de traction à partir de 63.000 voitures-kilomètres annuelles.

Avec la formule (1) il sera facile, pour une ligne donnée dont on connaîtra le prix de la voiture-kilomètre de la traction animale, de déterminer quel est le *point critique* de la transformation.

Etant donnée la base moyenne de 60.000 voitures-kilomètres, si l'on admet une moyenne de 3 voyageurs par voiture-kilomètre et le prix de la place à 0 fr. 25, on voit que la traction électrique est plus économique dès qu'on peut compter sur une recette annuelle de :

$$60.000 \times 3 \times 0{,}25 = 45.000 \text{ francs}$$

par kilomètre de voie. Ce résultat intéressant est confirmé *par la pratique*, puisque, pour les tramways électriques, la statistique des recettes moyennes donne, pour la France, la somme de 46.375 francs.

Comme application de la formule (1), nous allons déterminer, avec des prix de revient de la voiture-kilomètre pour la traction électrique variant de 0 fr. 20 à 0 fr. 45 et en supposant le prix de la voiture-kilomètre, en traction animale, égal et constant à 0 fr. 50, quels sont les points critiques correspondants.

La formule étant :

$$(1) \qquad x = \frac{(0{,}15 + y + 0{,}08)\ 70.000 - 4.500}{0{,}85\ (0{,}50 \quad y)}.$$

on est conduit aux résultats suivants :

Pour y =	20 centimes,	x =	12.000	voitures-kilomètres
=	23	—	=	15.000	—
=	25	—	=	17.700	—
=	28	—	=	21.600	—
=	30	—	=	25.000	—
=	33	—	=	31.700	—
=	35	—	=	37.600	—
=	38	—	=	49.000	—
=	40	—	=	62.300	—
=	45	—	=	136.800	—

Inversement, si l'on connaît le trafic maximum d'une ligne, on peut déterminer à quel prix il faudra produire la voiture-kilomètre, si l'on applique la traction électrique à la ligne considérée, pour que cette substitution soit rémunératrice.

Ces chiffres peuvent donner une indication sérieuse sur l'opportunité qu'il y a de remplacer la traction animale par la traction électrique. Ils ont d'autant plus de valeur que, en faisant cette transformation, on a toutes les chances d'augmenter, comme nous l'avons vu, le trafic, et cela dans de larges proportions et pour les raisons qui ont été expliquées. Ce fait pourra être considéré comme une sorte de *coefficient de sécurité* qui assurera la réussite, au point de vue financier, de la substitution du nouveau mode de traction à l'ancien.

Revenu probable d'une ligne d'importance donnée et résultats obtenus en pratique. — Il résulte d'une étude faite par M. Ed. Higgins [1], sur le rendement financier des lignes de tramways *américaines*, des renseignements sur les résultats obtenus à ce sujet. L'auteur a classé les différentes villes, suivant l'importance de leur

(1) *Street-Railway Publishing Co.* New-York, 1895.

population; et, en consultant les rapports et les documents communiqués par les Sociétés exploitantes, il est arrivé à classer l'importance de la recette par habitant, de la façon suivante.

La recette annuelle, par habitant, pour les villes qui ont moins de :

1° 15.000 hab., varie de 1 fr. 25 à 10 fr., et dépasse rarement 5 fr.
2° de 15.000 à 20.000 hab. est au moins de 2 fr. 50, et dépasse souvent 15 fr.
3° de 25.000 à 30.000 hab. — 5 fr. — 25 fr.
4° de 35.000 à 50.000 hab. — 7 fr. 50 — 25 fr.
5° de 50.000 à 100.000 hab. — 7 fr. 50 — 2; fr.
6° de 100.000 à 500.000 hab. — 20 fr. — 50 fr.
7° au-dessus de 500.000 hab., la recette est au moins de 75 fr.

La connaissance de ces chiffres a une grande importance, car ils permettent de se rendre compte, immédiatement, si l'exploitation d'une ville donnée, au point de vue de la traction électrique, peut être avantageuse. De plus, dans les exemples qu'on choisit, si l'on connaît le coefficient d'exploitation, c'est-à-dire le rapport des dépenses totales aux recettes totales, on peut approximativement en déduire le bénéfice probable et on peut déterminer à *titre indicatif*, le rendement financier du capital à engager dans l'entreprise. On comprend immédiatement combien ce point a d'importance pour ceux qui fournissent les capitaux destinés à établir ces entreprises. C'était, du reste, le but que s'était proposé M. Higgins dans son mémoire, destiné spécialement à renseigner les banquiers. M. Higgins a tiré de son travail les conclusions suivantes qui, d'après lui, doivent servir de guide aux banquiers qui veulent s'intéresser dans ces affaires.

M. Higgins dit en effet :

« En général, les capitalistes doivent refuser d'examiner et de s'intéresser dans toute affaire de tramways qui ne se présente pas dans les conditions suivantes :

1° Le service d'une population actuelle d'au moins 25.000 habitants ;

2° Un trafic nécessitant au moins 8 kilomètres de voies et 5 voitures ;

3° Le service direct d'une population minima de 2.000 habitants, par kilomètre de voie ;

4° La concession gratuite, pour trente ans au moins et sans charges écrasantes ;

5° La possibilité d'employer une voie de roulement coûtant, prête pour le service, 25.000 francs par kilomètre.

Comme on le voit, l'auteur s'est placé à un point de vue spécial, car, bien souvent, il existe d'autres causes qui assurent la prospérité financière des entreprises de tramways électriques. Il faut, en effet, se rappeler que telle ligne, exploitée par les chevaux, avait un mauvais rendement financier et, transformée en traction électrique, a donné de bons résultats. Cela tient aux causes complexes qui sont les principaux avantages de la traction électrique et que nous avons déjà examinées, c'est-à-dire l'augmentation de vitesse, des places toujours disponibles, un service plus régulier et plus élastique, etc., etc.

Pour compléter les renseignements donnés par M. Higgins, nous avons établi, dans le tableau C, la recette moyenne par habitant dans un grand nombre de villes américaines : on pourra voir que les prévisions de M. Higgins sont vérifiées.

Nous avons calculé également le nombre de voyages par habitant, ce qui permet, dans une ville donnée, de calculer la recette probable. Enfin, nous avons ajouté, dans le tableau D, divers autres renseignements qui, croyons-nous, seront intéressants pour les spécialistes.

Dans ce tableau, nous avons donné le nombre d'habitants par kilomètre de voie installé; on remarque que le *chiffre moyen obtenu:* 1.505 habitants par kilomètre, est un peu inférieur à celui indiqué par M. Higgins; cela tient à la présence de six villes dont le chiffre varie de 605 à 1.000 habitants par kilomètre, ce qui abaisse la moyenne.

D'une façon générale, l'on dépasse le chiffre de 2.000, comme cela est facile à vérifier en consultant ce tableau.

TABLEAU C. — RECETTE MOYENNE PAR HABI

NOMS DES VILLES	POPULATION 1	SUPERFICIE 2	NOMBRE de voitures circulant en même temps 3	RECETTE TOTALE en francs 4	VOYAGEURS transportés par an 5	VOYAGEURS transportés par jour 6	NOMBRE de voitures en circulation 9
New-York City	1.515.301	40,2	276	54.705.879	218.823.517	599.516	1.499
New-York City	Aérien.	—	90	46.458.408	185.833.622	509.133	—
Philadelphia	1.046.964	129,4	455	37.409.761	164.458.842	450.572	1.126
Brooklyn	806.343	26	275	24.169.725	101.705.821	278.646	697
Brooklyn	Aérien	—	89	72.522.693	49.429.228	135.423	—
Boston	640.000	35,3	269	28.426.495	114.991.678	315.406	775
Buffalo	255.664	39	59	3.806.724	16.425.983	45.003	113
Pittsburg	238.617	29,6	146	8.107.509	33.241.793	91.073	228
Rochester	133.896	15,6	64	2.893.292	11.370.134	31.151	78
Providence	132.146	19	58	4.078.154	18.473.724	50.613	127
Alleghany City	105.287	7,3	—	voir Pittsburg	—	—	—
Albany	94.923	11	31	1.273.399	4.787.847	13.117	33
Syracuse	88.143	20	61	1.533.662	6.330.158	17.343	43
Worcester	84.655	34	22	1.162.372	4.851.574	13.292	33
Lowel	77.696	11,2	27	1.049.152	4.185.392	11.461	29
Scranton	78.215	25	29	734.005	2.988.403	8.187	21
Fall River	74.398	11	16	773.738	3.143.212	8.611	22
Troy	83.388	5,2	27	1.784.338	6.244.276	17.107	43
Reading	58.661	7	13	653.243	3.175.979	8.701	22
Lynn	150.420	10,6	59	3.005.471	11.637.089	32.704	82
Lawrence	44.654	6,7	11	390.252	1.585.506	4.344	11
Springfeld	44.179	34,5	21	904.952	3.028 008	9.940	25
Utica	44.007	6	32	657.921	2.676.790	7.333	19
Manchester	44.126	40	95	233.136	888.990	2.436	7
New-Bedford	40.733	19	16	715.002	3.235.116	8.864	23
Erie	40.634	7	15	373.017	1.559.718	4.257	11
Somerville	40.152	4	voir Boston	—	—	—	—
Cambridge	70.028	5,8					
Portland	36.608	3,5	10	680.053	2.728.935	7.614	20
Holyoke	35.528	12,5	7	169.425	693.419	1.900	5
Bringhamton	35.093	10	32	375.163	1.662.587	4.555	12
Youkers	31.945	12,5	6	58.531	234.122	641	2
Salem	30.735	7	41	1.142.518	4.475.950	12.263	31
Long Island City	30.396	10	38	756.751	2.936.847	8.046	21
Elmira	28.070	7,2	14	165.720	662.882	1.876	5
Chelsea	27.850	2,5	—	voir Lynn	—	—	—
Pawtucket	27.502		9	241.297	964.814	2.643	7
Haverbille	27.322	24	14	284.010	936.170	2.565	7
Brockton	27.287	—	18	513.236	2.210.706	6.057	15
Auburn	25.887	—	6	59.167	236.663	648	2
Taunton	25.389	—	8	187.802	767.292	2.102	6
Newton	24.357	22	6	83.425	348.597	955	3
Hempsted	23.517	—	—	—	—	—	—
Newburg	23.263	—	5	123.974	495.897	1.359	4
Malden	22.984	—	—	voir Lynn	—	—	—
Parykeepsie	22.836	—	4	84.773	268.622	736	2
Cohoes	22.432	55	—	voir Troy	—	—	—
Fitchburg	22.007	—	6	154.810	509.143	1.395	4
Oswego	21.826	—	3	32.471	134.536	369	1
Lewiston	21.668	—	10	106.549	426.195	1.108	3
Gloucester	21.262	—	6	172.181	650.692	1.783	5
Kingston	21.181	—	3	145.224	446.770	1.224	3
Woonsocket	20.759	—	6	89.558	358.335	982	3
Total et moyennes générales	6.978.924	716,6	2.428	244.053.931	997.813.484	2.734.754	5.228

TANT ET DIVERS AUTRES RENSEIGNEMENTS

NOMBRE de voitures totales	VOITURES		RECETTES PAR			VOYAGEURS TRANSPORTÉS PAR VOITURES EN CIRCULATION PAR		NOMBRE de voyages par habitant et par an	RECETTE moyenne par habitant en francs
	fermées	ouvertes	jour	Voitures en circulation par					
				an	jour	an	jour		
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
2.373	1.912	461	146.282	37.229	102	145.979	394	144	36
921	—	—	124.228	—	—	—	—	120	30
1.691	930	761	109.939	33.224	91	146.055	393	142	35,70
2.486	1.344	1.142	67.989	34.677	95	145.919	394	110	27,40
373	—	–	33.043	—	—	—	—	62,4	15,55
2.045	1.002	1.043	76.959	36.744	100,6	148.376	401	177,6	44,43
207	143	64	10.981	33.688	92,3	145.362	392	59,4	14,85
521	287	234	22.222	35.559	97,4	145.797	394	135,6	33,90
192	127	65	7.601	37.093	101,6	145.770	393	86,4	21,60
341	227	114	12.349	32.111	87,98	145.462	393	125,2	30,85
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
116	105	11	2.200	38.587	105,7	145.096	392	53,6	13,4
132	99	33	4.231	35.666	97,7	147.212	397	69,7	17,42
73	39	34	3.243	35.223	99,7	147.017	392	54,8	13,70
105	57	48	2.796	36.177	99,1	144.254	399	54,8	13,70
52	29	23	1.992	34.675	95	142.304	384	37.8	9,45
66	30	36	2.101	35.170	96,3	142.873	386	41.6	10,40
120	61	59	4.174	41.496	113.7	145.215	392	97,6	24,40
79	44	35	2.123	29.693	81,3	142.350	390	44,6	11,15
252	116	136	7.980	36.652	100,4	141.315	383	82	20,40
37	19	18	1.060	35.477	97,2	144.150	389	35	8,75
74	12	32	2.425	35.505	97	145.120	398	81,9	20,48
85	67	18	1.789,2	34.627	94,9	140.883	385	60	15,00
25	13	12	594,4	36.162	99	126.998	343	21,2	5,30
72	35	37	2.163	31.087	85,2	140.637	380	70	17,50
38	21	17	1.038	33.910	92,9	141.792	383	36,6	9,15
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
54	36	18	1.857,8	34.062	93,4	136.446	368	74,4	18,60
18	9	9	463,6	33.885	92,6	138.683	374	19,2	4,80
46	28	18	1.111,4	31.263	92,5	138.548	374	42,8	10,70
14	12	2	156,4	29.265	78	116.857	316	7,3	1,83
122	59	63	2.992,2	36.855	96.4	144.385	390	88,6	37,21
114	75	39	2.051,1	36.035	97,6	139.849	362	79,4	24,87
31	21	10	457,7	33.144	91,5	132.576	358	23,6	5,90
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
23	23	—	644,9	34.471	92.1	137.831	372	32,2	8,05
38	21	17	625,9	40.573	89,4	133.738	361	41,5	10,38
46	21	25	1.477,9	34.216	95,1	147.380	398	72.3	18,07
16	12	4	158,10	29.583	79	117.667	318	9,1	2,28
23	13	10	512,9	31.300	85.5	127.882	345	30,8	7,71
17	9	8	233	22.808	77,6	115.799	313	14,3	3,59
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11	11	—	331.6	30.773	84,2	123.974	335	21,3	5,32
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9	9	—	179,6	42.386	89.7	134.311	390	15,3	3,73
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
13	6	7	340,4	38.702	85	127.285	344	28,1	7,03
5	5	—	90	32.471	90	114.536	363	5,9	1,48
22	15	7	270,4	35.516	90	142.065	384	19,6	4,91
18	8	10	435	34.436	87	130.138	351	32.4	8.10
8	8	—	298,6	18.308	99	148.923	402	27,6	6,90
10	10	—	239,6	29.852	79	119.411	327	17,3	4,32
13.134	7.160	4.680	—	35.000	82,0	135.875	375	59	14,90

TABLEAU D

NOMBRE D'HABITANTS PAR KILOMÈTRE DE VOIE EXPLOITÉE

NOMS DES VILLES	POPULATION	VOYAGEURS TRANSPORTÉS par an	LONGUEUR DU RÉSEAU en kilomètres	PAR KILOMÈTRE DE VOIE	
				Nombre de voyageurs transportés par an	Nombre d'habitants
Brooklyn	839 000	190 000 000	650	292 320	1 290
Birmingham et ses environs	686 000	36 000 000	131	274 809	5 236
Boston et ses environs	620 000	160 000 000	682	234 604	999
Liverpool	518 000	36 000 000	195	184 626	2 655
Saint-Louis	452 000	96 000 000	466	206 008	969
Dublin	362 000	10 000 000	106	94 340	3 226
Sheffield	324 000	6 200 000	29	214 114	11 172
Saint-Paul Minnéapolis	298 000	40 100 000	357	112 325	834
Belfast	256 000	19 700 000	64	307 812	4 000
Buffalo	256 000	30 700 000	229	134 061	1 101
Pittsburg	239 000	25 700 000	387	66 409	695
Bristol	220 000	13 700 000	45	304 444	4 444
Rochester	134 000	15 600 000	123	126 828	1 088
Aberdeen	122 000	4 300 000	34	126 470	3 588
Denver	107 000	15 100 000	159	94 969	673
Indianapolis	105 000	17 100 000	160	106 875	605
Derby	94 000	2 700 000	16	168 750	5 875
Oxford	46 000	2 700 000	13	207 692	3 538
Spingfield (Mass.)	44 000	7 500 000	56	133 928	785
Total	5 722 000	730 100 000	3 802		
Moyenne				192 030	1 505

Remarque. — Il résulte des rapports officiels américains que, dans une ville à trafic intensif et à grande densité de population, le prix de la traction électrique doit être seulement de 35 à 40 pour cent des recettes brutes : la différence, soit 60 pour cent, restant pour l'amortissement, l'intérêt et le service du dividende. Ce résultat moyen a été obtenu, en particulier, sur les tramways de Boston.

Nous terminerons ce chapitre en donnant différents bilans obtenus en France et à l'Etranger, dans l'exploitation des tramways électriques.

Bilans. — **France :** *Tramways électriques de Clermont-Ferrand.* — Ce tramway, créé par M. Claret, est aujour-

d'hui exploité par une Société anonyme au capital de 1.750.000 francs, divisé en 3.500 actions de 500 francs chacune.

L'usine se compose actuellement de 4 chaudières, une machine à vapeur de 500 chevaux et une autre de 250 chevaux actionnant des unités électriques correspondantes de 500 et 250 chevaux (une machine à vapeur et sa dynamo restent disponibles, par suite de diverses transformations).

Le nombre des voitures est de 26; le réseau est à voie unique avec garages.

On étudie actuellement le moyen d'avoir un plus grand nombre de garages, car ceux qui existent ne permettent pas d'augmenter le nombre des départs qui, sur trois des lignes, ne peuvent avoir lieu que tous les quarts d'heure. En augmentant la fréquence de ces départs, toutes les dix minutes, par exemple, l'on augmenterait sensiblement le trafic et, par conséquent, les recettes.

En 1894, le nombre de voyageurs a été de 2.436.578 et les recettes d'exploitation ont été de 332.860 francs.

En 1895, le nombre de voyageurs a été de 2.808.989, et les recettes d'exploitation de 364.530 francs : ce qui fait, pour une augmentation de 372.411 voyageurs, une recette supplémentaire de 31.670 francs.

En mai 1895, il a été ouvert de nouvelles lignes, dites réseau du sud : pour une période d'exploitation allant de mai à décembre, soit sept mois, il a été transporté 251.021 voyageurs, avec une recette brute de 28.675 francs. Pour l'établissement de ces nouvelles lignes, il a été dépensé 383.587 fr. 45, se décomposant comme suit :

Voies et bâtiments	138 358 fr. 40	
Matériel fixe et roulant	295 273 25	
Kiosques et outillage	6 117 00	
	339 748 fr. 65	383 587 fr. 45
Il faut ajouter à ces chiffres :		
2 voitures achetées en 1894	28 407 fr. 00	
Transformation de la machine compound	15 431 80	

Les résultats financiers donnés par ce tramway sont très satisfaisants, nous donnons le bilan de l'exercice arrêté au 31 décembre 1895 et se rapportant à l'exploitation de l'année 1895.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1895

ACTIF

Apport de M. Claret	2 600 000 fr.	00
Approvisionnements	46 512	46
Frais de constitution de la Société	73 471	20
Cautionnement de garantie	10 000	00
Caisse et espèces en banque	88 564	60
Subvention à recevoir	1 300	00
Réseau sud et matériel nouveau	383 587	45
Comptes débiteurs	2 232	06
Actionnaires, non versé sur actions nouvelles	125	00
Acompte dividende 1895, coupon n° 5 au 15 octobre 1895 sur 2 800 actions à 10 fr.	28 000	00
	3 233 792 fr.	77

PASSIF

1° Capital ancien	2 800 actions à 500 fr.	1 400 000		
— nouveau	700 —	350 000		
	3 500		1 750 000 fr.	00
2° Obligations en circulation	2 534 à 500 fr.	1 267 000		
Obligations amorties	66 —	33 000		
	2 600 émises		1 300 000	00
Salaires à payer		9 564,55		
Patentes et impôts à payer		1 863,11		
Parts des primes d'assurances dues, assurance du personnel		224,70		
Parts des primes d'assurances dues, (incendie et voyageurs)		711,80		
			12 364	16
Abonnements : billets vendus d'avance			251	40
Cautionnements des receveurs			1 560	00
Compteurs créditeurs			47 490	15
Coupons à payer			12 460	55
Réserve statutaire		8 617,00		
— spéciale		10 000,00		
— pour amortissement du capital		6 600,00		
			25 217	00
Profits et pertes : reliquat 1893 et 1894		5 507,99		
— solde de bénéfice 1895		78 881,52		
			84 449	51
			3 233 792 fr.	77

PROFITS ET PERTES

DÉPENSES

Solde coupon n° 2 des obligations au 30 avril 1895....	16 975 fr. 00
Coupon n° 3 — au 31 octobre 1895.	25 570 00
Remboursement de 23 obligations au 31 octobre 1895.	11 500 00
Deux mois de coupon n° 4 des obligations au 31 avril 1895	8 446 85
	62 491 fr. 65
Intérêts des actions nouvelles au 31 décembre 1895..	8 568 00
Bénéfice suivant bilan	84 449 51
Total...........	155 509 fr. 16

RECETTES

Reliquat : exercice précédent......................	5 567 fr. 99
Bénéfice brut, exercice 1895........................	149 941 17
Total...........	153 509 fr. 16
Reliquat de l'année précédente	5 507 fr. 99
Solde de bénéfice, exercice 1895....................	78 881 52
	84 449 fr. 51

Le bénéfice brut de l'exploitation au 31 décembre 1895 a été de..	149 941 fr. 17
Si l'on déduit les charges d'intérêt et d'amortissement des obligations, soit..	62 491 65
Il reste un produit de	87 449 fr. 52
Auquel il faut ajouter le reliquat bénéficiaire de 1894..	5 597 99
Ce qui donne un total à répartir de....	93 017 fr. 51
En prélevant de ce chiffre l'intérêt statutaire de 5 pour cent pour les 700 actions nouvelles au 31 décembre 1895, soit	8 568 00
Il reste	84 449 fr. 51
Le prélèvement de la réserve statutaire à 5 pour cent sur 87 449 fr. 32 donne	4 372 50
Le restant net disponible est donc de	80 077 fr. 01
Ce résultat, qui représente le bénéfice net, permet de distribuer un dividende de 5 pour cent, soit de 25 francs par action, aux 2 800 actions anciennes, ce qui emploie.	70 000 00
Il reste un reliquat de.........	10 077 fr. 01

Pour donner une idée de l'augmentation successive des recettes de cette entreprise, prenons l'exemple suivant (mois de mars 1895 et 1896) :

	fr.			
Recettes du mois de mars 1896 :	22 148,50	avec	185 120	voyageurs
— 1895 :	18 578,05	—	154 496	—
Augmentation pour 1896 :	3 770,45	—	30 716	voyageurs

Pour le premier trimestre de l'année 1896, on a :

	fr.			
Recettes depuis le 1[er] janv. 1896 :	58 480,10	avec	493 003	voyageurs
— 1895 :	49 133,80	—	414 906	—
Soit une augmentation en 1896 :	9 346,30	avec	78 186	voyageurs

On voit combien cette entreprise, installée la première en France, est prospère à tous points de vue.

Compagnie des Tramways électriques de Dijon. — Le capital nominal de cette Société est de 1.500.000 francs (3.000 actions de 500 francs).

L'exercice de l'année 1895, arrêté au 31 décembre, a donné les résultats suivants :

Ensemble des bénéfices............			280 960 fr. 10
Dont il faut déduire :			
a) Dépenses diverses................	135 935 fr.	85	
b) Service des obligations...........	43 545	00	
c) Amortissement à 10 pour cent sur les frais de constitution..............	4 964	21	
d) Amortissement sur le mobilier....	104	70	184 549 76
Le bénéfice disponible restant est :			96 410 fr. 34

Ce bénéfice a été réparti ainsi :

Dividende de 5 pour cent par action de 500 francs.	75 000 fr. 00
Réserve légale..................................	4 820 50
Fonds de roulement..........................	16 589 34
Total..............	96 410 fr. 84

Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston. — Cette Compagnie qui s'occupe exclusivement d'installation de traction électrique a donné, pour l'année 1894-1895, un dividende de 8 pour cent du capital versé, soit 19 fr. 20 nets d'impôts, par action (décision de l'Assemblée générale du 19 mars 1895).

Pour l'exercice 1895-1896, le dividende a été de 32 francs par action. L'assemblée générale extraordinaire de cette

année a décidé l'émission de 10 millions d'obligations. Cette émission a été couverte immédiatement ; c'est dire la confiance qu'inspirent les entreprises de traction électrique en général, et en particulier celles des tramways électriques dont cette Société s'est fait, en France, une spécialité.

Allemagne : *Société des tramways de Hambourg.* — Cette Société exploite un des réseaux les plus importants d'Europe. Le capital de construction nécessaire a été de 13.650.000 francs, se répartissant ainsi :

Installation électrique	6 850 000 fr.
Lignes	6 800 000
Capital de construction	13 650 000 fr.

Le capital-actions est de 16.250.000 francs.

Les recettes d'exploitation ont été, pour l'exercice 1894, de 6.800.000 francs avec 44.200.00 voyageurs ; et, pour 1895, de 7.563.509 francs avec 49.990.000 voyageurs.

La recette moyenne par voyageur a été de 0 fr. 156, en 1894, et de 0 fr. 151 en 1895.

Le bénéfice brut, pour l'exercice 1895, a été de 2.400.000 francs ; et le bénéfice net de 965.000 francs.

Le bénéfice de 965.000 francs a permis de donner 5 pour cent *de dividende* aux actionnaires. En 1894, ce dividende n'avait été que de 3 pour cent.

Le prix de revient de la voiture-kilomètre a été, en 1895, de 15,21 centimes, comme nous l'avons vu précédemment ; le nombre de voitures-kilomètres a été de 8.020.000, ce qui fait ressortir le bénéfice brut par voiture-kilomètre à 0 fr. 30, et le bénéfice net par voiture-kilomètre à 0 fr. 12.

Tramways d'Erfurt. — La Société qui exploite ces tramways est au capital de 1.375.000 francs. Pendant l'exercice 1894-1895, les résultats ont été les suivants :

Recettes brutes	261 000 fr.
Frais d'exploitation	147 000
Bénéfice net	114 000 fr.

Ces frais se décomposent comme suit :

Salaires	52 000	
Entretien et réparation	28 000	
Frais d'exploitation	67 000	147 000 fr.

Le bénéfice brut de 114.000 francs a laissé un bénéfice net de 90.000 francs, ce qui a permis de distribuer un dividende de 4 pour cent aux actionnaires.

Autriche-Hongrie: *Tramways de Budapest.* — Le capital engagé dans les tramways de Budapest est de 15.560.000 francs.

Le compte de profits et pertes, pour l'exercice 1893-1894, s'est réparti comme suit :

DOIT

Dépenses d'exploitation	1 201 310	
Autres dépenses	310 300	
Amortissement de la construction de la ligne et du capital d'institution	132 000	
Actions amorties	51 900	1 695 510 fr.
Soldes et profits		1 049 646
Total		2 745 156 fr.

AVOIR

Profits avant l'année 1893	56 210	
Recettes de l'exercice	2 688 946	
Total		2 745 156 fr.

Pour donner une idée de quelle façon cette entreprise est prospère, nous indiquons les voyageurs transportés et les recettes pendant les années 1893 et 1894. Ces résultats ont été obtenus avec un réseau de 45 kilomètres. On voit que, d'une année sur l'autre, les recettes ont augmenté dans la proportion de 27 pour cent.

RÉSULTATS OBTENUS PENDANT LES EXERCICES 1893 ET 1894

MOIS DE L'ANNÉE	KILOMÈTRES-VOITURES PARCOURUS		VOYAGEURS TRANSPORTÉS		RECETTES EN FRANCS	
	1893	1894	1893	1894	1893	1894
Janvier....	175 642	245 236	813 735	1 084 349	126 148	173 561
Février....	172 666	229 645	884 476	991 973	113 199	150 437
Mars.......	209 690	264 605	942 457	1 233 829	136 631	186 720
Avril......	215 066	257 012	1 070 435	1 292 339	155 687	195 761
Mai........	218 912	273 077	1 203 133	1 462 542	164 099	220 992
Juin.......	213 972	272 719	1 082 505	1 324 324	157 069	200 360
Juillet......	231 581	290 073	1 070 407	1 339 706	154 826	201 467
Août.......	228 712	297 005	1 121 069	1 360 760	160 911	204 653
Septembre.	214 764	284 529	1 083 178	1 350 411	156 615	204 539
Octobre....	211 133	293 849	1 164 897	1 349 250	173 667	208 029
Novembre..	237 204	300 532	1 089 548	1 305 593	167 283	203 396
Décembre..	240 676	301 377	1 073 434	1 329 476	162 405	200 633
Total..	2 570 020	3 309 783	12 499 274	15 424 552	1 838 550	2 350 568

Conclusion. — Comme nous le voyons par les quelques résultats financiers obtenus dans les diverses entreprises de tramways électriques qui précèdent, on peut affirmer, sans être trop optimiste, que ces entreprises sagement conduites donnent actuellement un revenu *assuré* de 5 pour cent, en moyenne, du capital engagé.

Ce rendement financier augmentera au fur et à mesure que l'amortissement sera fait, car il sera prudent de prendre une période d'amortissement moins longue que celle de la durée de la concession, de sorte que les dernières années d'exercice donneront un dividende élevé.

Mais faisons remarquer que, si ce revenu est assuré dans des entreprises sagement conduites et constituées, au début, dans des conditions raisonnables au point de vue des *apports divers*, il en sera tout autrement si ces apports ont été surfaits et si le capital a été *majoré*, car on aura ainsi des charges trop grandes pour le rapport moyen et limité de ces entreprises. En effet, il arrive souvent que les détenteurs de concessions sont trop exigeants et demandent aux Sociétés

capables de mettre sur pied l'entreprise une rémunération de leur apport trop grande et dont l'importance est hors de proportion avec celle de l'affaire présentée.

Nous ne saurions trop mettre en garde les intéressés contre cette tendance qui, en somme, est contraire aux intérêts de tous; car, bien souvent, pour réaliser une affaire qui semble excellente, on peut se laisser entraîner à consentir aux apporteurs des avantages qui seront, par la suite, une lourde charge pour l'entreprise. Aussi, croyons-nous qu'il n'est pas sage de donner aux apporteurs une somme d'argent autre que celle qui peut représenter les débours faits pour l'obtention de la concession ; et, à ce point de vue, nous ferons remarquer qu'on paye habituellement *trop cher* ces dépenses. Nous savons que souvent ces dépenses peuvent être élevées; mais pourquoi, dans ce cas, ne pas demander au concessionnaire la preuve des dépenses faites : car, si elles ont été réellement faites, la preuve en existera et, si cette preuve ne peut être démontrée, cela voudra dire qu'il y a majoration, et on saura à quoi s'en tenir. Nous pensons qu'il ne faut pas voir, dans cette manière de faire, une mesure vexatoire, mais bien une précaution toute naturelle de personnes qui comprennent leurs intérêts ou ceux qu'on leur a confiés. C'est presque toujours les frais d'étude faits pour l'obtention de la concession qui sont majorés; à ce titre, nous donnerons l'indication suivante :

Pour un avant-projet, on peut évaluer de 100 à 150 francs les dépenses à faire par kilomètre de voie, et pour un projet complet, nécessaire pour l'obtention définitive de la concession, de 500 à 700 francs par kilomètre de voie.

Pour terminer, nous pensons qu'il est logique de rembourser les frais faits, et cela en espèces, et de payer la valeur de la concession en *actions libérées*, étant donné que les parts de fondateurs ne sont plus admises, par la loi, pour les entreprises qui touchent à un service public. Ces actions devant rester pendant deux années à la souche, l'on empêche, autant que possible, la spéculation de se produire. De cette manière, l'apporteur et l'exploitant courent ainsi des *risques proportionnels :* si l'affaire est bonne, elle l'est

pour ceux qui y ont participé; si elle est médiocre ou mauvaise, tous deux ont travaillé en pure perte, mais il ne se trouve pas ainsi que l'apporteur qui ne courait aucun risque a eu seul tout bénéfice, tandis que l'exploitant qui les courait tous a payé cher une concession qui ne valait rien.

Pour ce qui concerne les résultats financiers obtenus avec les métropolitains, nous renvoyons au chapitre premier de la quatrième partie.

QUATRIÈME PARTIE

LES MÉTROPOLITAINS ÉLECTRIQUES LES LOCOMOTIVES ÉLECTRIQUES ET LES CHEMINS DE FER ÉLECTRIQUES A GRANDE VITESSE

CHAPITRE I

LES MÉTROPOLITAINS ÉLECTRIQUES

Considérations générales sur l'établissement des métropolitains. — Les métropolitains de Londres : description générale. — Dépenses et recettes : prix du train-kilomètre. — Métropolitain de Liverpool : description générale. — Trafic et dépenses d'exploitation : prix du train-kilomètre. — Métropolitain électrique de Chicago. — Chemin de fer souterrain de Budapest : description générale, coût de la ligne. Projet de métropolitain électrique de Paris : description générale : dépenses probables de premier établissement. — Considérations sur le prix du train-kilométrique évalué d'après les données précédentes. — Trafic probable.

Considérations générales sur l'établissement des métropolitains. — Toutes les grandes capitales présentent le même inconvénient pour les transports en commun : l'encombrement des rues est tel (et cela surtout à certaines heures de la journée) que la circulation devient presque impossible. De plus, les moyens de traction ne présentent pas une élasticité suffisante pour dégager, en quelques minutes, certains endroits qui sont le centre des agglomérations de voyageurs. Il y a bien une solution qui consiste à augmenter les moyens de traction actuels, mais elle reste incomplète, car on encombre davantage les voies qu'il faudrait dégager.

La meilleure solution pour résoudre ce problème est celle

qui a déjà été adoptée dans quelques grandes capitales : c'est la construction de métropolitain placé en souterrain ou en viaduc.

Sur les premiers métropolitains, la traction fut faite par des locomotives à vapeur : on reconnut bien vite les inconvénients d'un tel système ; le dégagement des fumées, la mauvaise aération, etc., rendaient les voyages très pénibles. Aussi, la traction électrique vint-elle modifier heureusement ces conditions, et depuis qu'elle a été adoptée, quelques capitales, qui hésitaient à construire un métropolitain dans de mauvaises conditions, ont adopté ce mode de traction qui a su donner satisfaction à tous ceux qui l'emploient, aussi bien au point de vue technique qu'au point de vue financier, qui est toujours si important dans ces sortes de questions.

La traction électrique présente, en effet, les qualités requises pour l'exploitation d'un métropolitain souterrain : il n'y a pas production de fumée, ni de vapeur ; le démarrage et l'arrêt des trains sont rapides ; l'exploitation est très facile et surtout très économique. Aussi, quatre grandes villes : Londres, Liverpool, Berlin et Chicago ont-elles adopté déjà, depuis quelques années, le métropolitain électrique. La ville de Budapest vient de terminer un chemin de fer souterrain, et Paris va avoir prochainement, espérons-le, son métropolitain.

L'adoption de ce mode de traction est d'autant plus naturelle que l'expérience, acquise depuis bientôt dix ans dans les tramways électriques à fil aérien, permet de ne faire aucune expérience : on sait où l'on va, car l'exploitation d'un métropolitain bien compris ressemble plutôt à l'exploitation d'un tramway électrique qu'à celle d'un chemin de fer.

Pour donner une idée générale de la question, nous donnerons la description des principaux métropolitains électriques existants, en y ajoutant des renseignements sur les frais de premier établissement, le prix du train-kilomètre, le trafic et les résultats financiers de ces entreprises. On comprendra la grande importance de ce dernier point, car,

si les résultats financiers sont satisfaisants, cela veut dire que le rendement total du système est bon et, au point de vue pratique, c'est le meilleur éloge qu'on puisse faire de la traction électrique appliquée aux métropolitains.

Enfin, ce chapitre servira de transition naturelle à celui où sont examinées les conditions d'établissement des chemins de fer électriques à grande vitesse. Ce sera indiquer ainsi que les métropolitains participent des tramways et des chemins de fer électriques.

Les métropolitains de Londres. — Londres compte actuellement deux métropolitains électriques; un troisième



Fig. 210. — Métropolitain de Londres.

est en construction. Le plus ancien des deux est le City and South London Railway, inauguré le 4 novembre 1890 : il réunit King William Street, dans la Cité, à Stockwell, soit une longueur de 5.170 mètres. Il est entièrement souterrain et à voie étroite : il passe sous la Tamise (*fig.* 210).

Ce métropolitain, construit par l'ingénieur John Fowler, a le défaut d'être mal aéré, malgré les nombreuses prises d'air ; de plus, étant entièrement souterrain, il est très monotone d'y circuler.

Ce métropolitain comporte six stations, y compris les terminus : elles sont desservies par des ascenseurs hydrauliques qui peuvent monter 100 personnes en trente secondes.

La ligne ne présente pas de rampes supérieures à 33 millimètres : la voie a une largeur de $1^{m},422$, et chaque voie (montante et descendante) est établie dans un tunnel spécial, dont les parois sont constituées par des anneaux de fonte.

Locomotives. — Les locomotives (*fig.* 211 et 211 *bis*) pèsent 10,5 tonnes: elles comportent deux moteurs électriques de 50 chevaux, couplés en série, et qui attaquent directement les

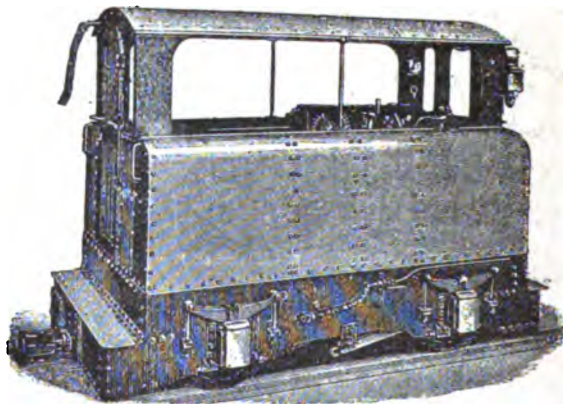


Fig. 211. — Vue extérieure de la locomotive électrique du City and London Railway.

essieux sur lesquels ils sont calés : l'induit est du type Gramme. Les inducteurs sont excités en série, et l'enroulement est tel qu'ils sont saturés presque entièrement pour un courant inférieur au travail normal : il s'en suit que le champ reste sensiblement constant. Les inducteurs sont bipolaires et sont

supportés d'un côté par des coussinets, avec jeu latéral, qui enveloppent des fusées intérieures, ménagées sur les essieux; de l'autre côté, les inducteurs sont attachés aux châssis par une barre articulée, non élastique..

Chaque essieu porte un poids de $1^t,721$ dont $1^t,215$ pour l'induit, les roues, les boîtes à graisse et les ressorts, et 500 kilogrammes pour la partie des inducteurs supportée par l'essieu. Les roues ont un diamètre de $0^m,684$, et,

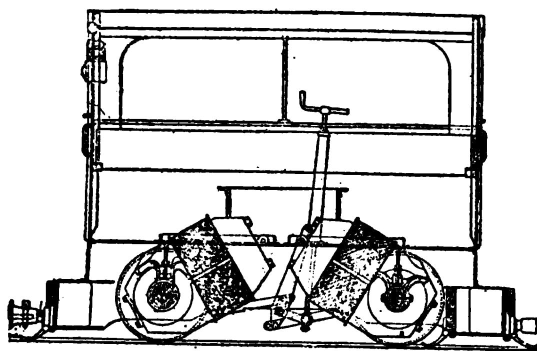


FIG. 211 *bis*. — Coupe.

comme la vitesse des moteurs est de 310 tours par minute, cela correspond à une vitesse maxima de $40^{km},25$ à l'heure : la vitesse moyenne de marche est de 28 kilomètres à l'heure.

Les balais des moteurs étant calés dans une position fixe, il en résulte des étincelles assez fortes pendant la marche.

Pour un courant de 100 ampères, l'effort total de traction est de 533 kilogrammes ; avec 226 ampères, l'effort de traction est maximum et égal à 1.356 kilogrammes.

L'appareil de démarrage et de réglage de la vitesse des moteurs est un simple rhéostat à 50 touches sur quelques machines et à 25 sur d'autres.

Un train se compose d'une locomotive et de trois voitures ayant chacune 33 places, soit 100 places totales, en chiffre rond ; les voitures sont à couloir central ; elles sont montées sur boggies et pèsent à vide $7^t,5$: il n'y a qu'une seule classe, et le tarif est de 0 fr. 20 par voyageur.

Des expériences intéressantes ont permis d'évaluer la puissance absorbée par les trains à différentes vitesses : cette puissance peut varier de 53 à 119 chevaux; au démarrage il faut fournir 140 chevaux.

Prise de courant et conducteur. — Le courant est distribué par un conducteur isolé, en fer, ayant la forme d'un **U** et placé dans l'axe de la voie : il repose sur des isolateurs en verre, espacés d'environ $0^m,90$ et fixés, sur des traverses en bois, au moyen de crampons ordinaires.

Les barres qui constituent le conducteur sont reliées entre elles par des lames de cuivre placées en dessous ; le retour se fait par les rails.

Le courant est amené par 4 feeders, à la tension de 500 volts.

Le frotteur, ou prise de courant, est en fonte et vient prendre le courant sur le conducteur en forme d'**U**.

Comme le conducteur est interrompu au croisement des rails, la locomotive a trois frotteurs, de sorte que le courant n'est jamais rompu de ce fait : la continuité du courant, aux endroits où il est coupé, est assurée par un câble métallique qui réunit les parties de ce conducteur.

La perte de courant par défaut d'isolement est, en marche normale, de 0,5 ampère pour l'ensemble de la ligne; dans certaines circonstances, elle atteint 1 ampère, mais rarement.

Station génératrice. — Elle est située à Stockwell, l'un des terminus.

Elle comprend 4 machines à vapeur compounds verticales d'une puissance de 400 chevaux à 100 tours ; ces machines commandent chacune une dynamo du type Edison-Hopkinson à excitation compoundée, donnant un courant maximun de 450 ampères sous 500 volts, avec une vitesse de 500 tours par minute.

Fréquence des trains et trafic. — Les trains partent toutes les 3,5 minutes, entre huit et dix heures du matin et, le soir, entre cinq et sept heures; pendant les autres heures de

la journée, ils partent toutes les cinq minutes. Le service commence à six heures cinq minutes du matin et finit à onze heures du soir. Le dimanche, il est réduit de midi et demi à dix heures et demie du soir.

Le nombre de trains en circulation en même temps est de 10.

Le trafic des voyageurs, de 1891 à 1895, a successivement augmenté, comme le montre la statistique suivante.

Il y a eu en :

1891 :	5 161 398	voyageurs
1892 :	5 930 764	—
1893 :	6 240 007	—
1894 :	6 658 803	—
1895 :	6 285 637	—

Ces chiffres ne comprennent pas les abonnés qui sont en grand nombre et qui ont surtout augmenté de 1894 à 1895 : ce qui explique la diminution apparente du trafic pendant cette année.

La recette due aux seuls voyageurs a été de :

En 1894 :	1 427 000	francs
1895 :	1 435 000	—

Frais de premier établissement et dépenses d'exploitation. — La construction de ce métropolitain, tout compris, est revenue à 22.660.050 francs, soit par kilomètre 4.384.000 francs. Ce chiffre élevé s'explique en se rappelant que ce métropolitain est entièrement en tunnel d'une grande profondeur, et que chaque voie a son tunnel ; de plus, il a fallu traverser la Tamise.

Le rapport, communiqué à l'assemblée des actionnaires, le 21 janvier 1896, donne pour l'exercice du deuxième semestre de 1895, une dépense totale d'exploitation de 365.937 francs, se répartissant comme suit :

Frais de traction.	1° Entretien de la voie et des bâtiments.............	11 555	165 585
	2° Locomotive et force motrice......................	142 685	
	3° Matériel roulant.......	11 345	
	4° Dépenses de trafic.....	141 587	
	5° Frais généraux........	40 775	
	6° Dépenses légales.......	190	
	7° Impôts et divers.......	17 800	
	Total......	365 937	

Soit, en chiffres ronds, 366.000 francs.

Prix du train-kilomètre. — Pendant cette période de six mois (juillet-décembre 1895), le nombre de trains-kilomètres a été de 366.000 ; il en résulte que le prix du train-kilomètre ressort à :

$$\frac{366.000 \text{ francs}}{366.000 \text{ trains-kilomètres}} = 1 \text{ franc.}$$

Si l'on cherche le prix du train-kilomètre, en prenant seulement les frais de traction proprement dits, on trouve, comme cela est indiqué plus haut, que les frais sont de 165.585 francs, ce qui donne :

$$\frac{165.585}{366.000} = 0 \text{ fr. } 45.$$

Le bénéfice réalisé pendant cette même période (juillet-décembre 1895) a permis de payer l'intérêt des obligations et de distribuer un *dividende* de 5 pour cent aux actions privilégiées et un dividende de 1,25 pour cent aux actions ordinaires.

Extensions. — Les résultats déjà obtenus sont tels qu'un prolongement de ce métropolitain va être prochainement réalisé : la ligne ira jusqu'à Frisburry Pavement ; la longueur du réseau ainsi augmenté sera de 10.465 mètres ; il reliera la Cité aux principales gares de chemin de fer du Great Eastern, du North London et de West London ; il passera dans le voisinage de Hyde Park et Kensington Gardens.

De plus, ce système de métropolitain, qui a fait ses preuves, va être appliqué à la construction d'un second métropolitain : le Central London Railway et à un troisième qui s'appellera : Waterloo and City Railway ; la longueur de celui-ci sera de 2.200 mètres ; il passera sur la Tamise et reliera la gare de Waterloo à la Bank Station, l'une des gares du Central London Railway.

Métropolitain de Liverpool. — Ce métropolitain porte le nom de Liverpool Overhead Railway : il est aérien et construit en viaduc. Sa longueur est de 9.700 mètres, sur lesquels 100 mètres seulement sont en remblai. Son tracé est parallèle à la rivière de la Mersey et il longe les docks, depuis Herculanum Dock jusqu'à Seaforth. Il a été terminé en février 1893 (*fig.* 212).

Voie et matériel roulant. — Le viaduc est composé de travées de 15 mètres de longueur et de 7^{m},50 de largeur, supportées par des piliers en treillis d'une hauteur de 4^{m},20.

La ligne comprend deux voies parallèles à largeur normale ; les plus fortes déclivités sont de 25 millimètres par mètre et ne s'étendent que sur de faibles longueurs.

Les stations sont au nombre de 13 et sont distantes de 300 à 1.200 mètres.



Fig. 212. — Tracé du Métropolitain de Liverpool.

Les trains sont composés de deux voitures automotrices, la longueur de chaque voiture est de $13^{m},70$, et sa largeur de $2^{m},70$; elles sont montées sur boggies à deux essieux. Le poids à vide de chaque voiture est de 16 tonnes.

Le nombre de places, par voiture, est de 57 places totales, dont 16 de première classe et 41 de deuxième classe: la capacité d'un train est donc de $2 \times 57 = 114$ places, au total.

Chaque voiture n'a qu'un moteur: les deux voitures constituant un train sont placées, l'une par rapport à l'autre, de façon qu'il y ait un moteur à l'avant et un moteur à l'arrière.

Conducteur et prise de courant. — Le conducteur est en acier, en profil d'U, d'une section de 40 centimètres carrés; il est placé dans l'axe de la voie et supporté par des isolateurs en porcelaine, posés sur des traverses en bois, espacées de 2 mètres l'une de l'autre. L'alimentation du conducteur se fait sans feeder.

Le retour a lieu par les rails et, pour l'assurer d'une façon plus parfaite, les quatre rails, constituant les deux voies, sont reliés entre eux de distance en distance.

La prise de courant, ou frotteur, n'a rien de spécial: ce sont deux sabots en fonte réunis entre eux par une charnière et suspendus au châssis du boggie, mais isolé de celui-ci.

Le courant est distribué à 500 volts: les pertes de courant sont très faibles.

Moteurs. — Les moteurs sont calés directement sur l'essieu: l'induit, d'un diamètre de 437 millimètres, est à tambour. Les inducteurs sont en forme de double fer à cheval: l'excitation est faite en série. Ces moteurs sont soutenus par deux appendices qui portent sur des coussinets, enveloppant des fusées intérieures ménagées sur les essieux. Le poids des inducteurs est équilibré par des ressorts, attachés au châssis.

Ces moteurs tournent à 300 tours au maximum, ce qui

correspond, avec des roues d'un diamètre de $0^m,838$, à une vitesse maxima de 50 kilomètres à l'heure.

Les deux moteurs, à l'avant et à l'arrière du train, sont couplés en série au démarrage, et en quantité pour la marche normale.

Pour graduer la vitesse et faire les démarrages, il y a un rhéostat à 20 touches.

Au démarrage, le courant atteint 120 ampères ; en marche normale à la vitesse maxima, il n'est plus que de 50 ampères.

Des essais successifs ont permis de déterminer l'effort moteur, aux jantes des roues d'un essieu moteur, en fonction de l'intensité du courant ; on a trouvé :

76,5	kilogrammes pour un courant de	5	ampères
202,5	—	50	—
427	—	80	—

Les trains sont munis de freins Westinghouse et de frein à main.

Station génératrice. — Elle est située presque au milieu de la ligne, près du Bramley Moore Dock.

Elle se compose de 4 machines à vapeur compounds horizontales d'une puissance maxima de 400 chevaux, à 100 tours par minute. Ces machines commandent des dynamos Elwell Parker, tournant à 400 tours par minute, avec une intensité maxima de 500 ampères sous 500 volts.

Pour faire le trafic, deux groupes sont nécessaires, ils fonctionnent toujours ; un troisième est prêt à fonctionner en cas d'accident ; le quatrième sert de réserve.

Trafic, frais de premier établissement et dépenses d'exploitation. — Le service commence à cinq heures du matin et se termine à huit heures cinq du soir. Entre cinq heures et neuf heures du matin et cinq heures cinquante et huit heures cinquante du soir, un train part toutes les dix minutes. Entre neuf et cinq heures et demie du soir, il en part toutes les cinq minutes.

A ce moment il y a, sur la ligne, 12 trains qui circulent

en même temps, et qui absorbent environ 800 chevaux, à l'usine génératrice. Avec cet horaire, le mouvement des voyageurs, pendant les années 1894 et 1895, a été le suivant :

CLASSES	ANNÉE 1894 1er Semestre	1894 2e Semestre	1895 1er Semestre	1895 2e Semestre
1re classe	277 653	362 179	400 260	444 762
2e classe	1 246 975	2 228 224	2 114 462	2 374 794
Billets d'ouvriers (aller et retour)	1 336 809	1 050 976	945 338	960 810
	2 861 437	3 641 379	3 460 000	3 780 375

Soit un total de voyageurs :

Pour l'année 1894 : 6 502 816
— 1895 : 7 240 435

On voit que le trafic a très sensiblement augmenté en 1895 : 10 pour cent environ en plus des chiffres de l'année 1894.

Le 11 février 1896, a été donné à l'Assemblée générale des actionnaires le compte rendu de l'exercice du deuxième semestre 1895. D'après le rapport communiqué, le total des frais d'exploitation aurait été de 470.000 francs, se répartissant comme suit :

Frais de traction proprement dits..	1° Entretien de la voie et des bâtiments	90 480	218 020
	2° Force motrice	123 050	
	3° Matériel roulant	4 490	
	4° Dépenses du trafic	166 890	
	5° Frais généraux	51 560	
	6° Dépenses légales	250	
	7° Impôts divers	33 280	
		470 000	

Le nombre de trains-kilomètres pendant le semestre a été de 517.177 ; le prix de revient total du train-kilomètre est donc :

$$\frac{470.000}{517.177} = 0 \text{ fr. } 91.$$

M. Parker a décomposé de la façon suivante le prix de la traction proprement dite, pendant les mois de juillet, août et septembre 1893 :

		Juillet.	Août.	Septembre.
Direction		2,60	2,60	2,60
Personnel	Station centrale.	3,06	3,70	3,92
	Trains	6,72	6,33	6,61
Combustible		3,68	4,48	7,70
Graissage		0,88	0,87	0,81
Eau		0,06	0,08	0,10
Fournitures diverses		0,30	0,65	0,72
Nettoyage et entretien		5,20	6,13	4,86
A déduire : Éclairage et signaux		2,00	1,69	1,73
Dépense totale de traction en centimes.		21,30	23,15	25,47
Parcours en kilomètres		63 192	66 702	65 430

Pendant le demi-exercice 1893 (juillet à décembre), les recettes brutes ont été de 462.900 francs, et les dépenses de 343.000 francs, soit 74 pour cent des recettes brutes.

Le capital nécessaire pour la construction a été de 13.750.000 francs, soit 1.400.000 francs par kilomètre.

L'exploitation, pendant cet exercice, a donné un bénéfice qui a permis de servir les intérêts des obligations et un dividende de 5 pour cent aux actions privilégiées et de 3,5 pour cent aux actions ordinaires.

Ces résultats pratiques nous serviront pour établir approximativement le prix du train-kilomètre dans le projet d'établissement du Métropolitain de Paris, et nous déduirons ainsi le résultat financier probable de cette entreprise dont la réalisation présente un si grand intérêt pour les Parisiens qui l'attendent depuis si longtemps.

Métropolitain électrique de Chicago. — Ce métropolitain fut construit à l'occasion de l'exposition de Chicago en 1893. La figure 213 représente le tracé de ce métropolitain qui est entièrement aérien et qui a $5^{km},5$ de longueur.

La double voie est supportée par un viaduc d'une hauteur minima de $4^{m},30$; les piliers qui soutiennent la voie sont espacés de 12 à 15 mètres.

La voie de roulement est constituée par des rails pesant 20 kilogrammes le mètre courant ; ils sont posés sur des traverses en bois paraffiné. L'isolement est, paraît-il, suffisamment assuré ainsi ; le retour du courant se fait par les rails ; le joint électrique des rails est fait par une plaque de cuivre posée sur le patin des rails.



Fig. 213. — Tracé du Métropolitain de Chicago.

Le fil de travail est alimenté par des feeders posés dans un caniveau en bois; ces feeders sont constitués par des rails de 20 kilogrammes ; l'alimentation du fil de travail se fait tous les 100 mètres. La prise du courant se fait au moyen de deux patins suspendus au truck par des bielles articulées.

Les voitures à couloir central, longues de 15 mètres, sont montées sur 2 trucks à boggie. Un train est constitué par une

voiture automotrice à 4 moteurs de 100 chevaux chacun qui remorque quatre voitures ordinaires à 48 places.

L'énergie électrique produite par une station centrale d'une capacité de 4.600 kilowatts répartis en deux groupes de 1.500 et deux de 800. Les dynamos sont du type de la General Electric C°. Les unités de 1.500 kilowatts sont commandées par des moteurs à vapeur verticaux de 2.000 chevaux chacun ; celles de 800 kilowatts, par des moteurs verticaux de 1.000 chevaux.

On a peu de renseignements sur le coût du train-kilomètre, l'exploitation de la ligne n'étant faite que depuis une année et demie. Pendant les six mois qu'a duré l'exposition ce métropolitain a transporté 5.800 000 voyageurs, soit une moyenne de 32.000 voyageurs par jour.

Chemin de fer souterrain de Budapest. — La Société qui exploite les tramways électriques de Budapest vient de faire construire un chemin de fer souterrain qui réunit le centre de la ville, près du Danube, au Stadtvaldchen en suivant presque une ligne droite, sous la Andrassystrasse.

La ligne, d'une longueur de 3.750 mètres, est souterraine sur 3.220 mètres; elle est constituée par un tunnel (*fig.* 214 à 216) qui comporte deux voies à écartement normal et à pente uniforme de 1 à 2 millimètres par mètre. Elle est établie avec des rails, pesant 23 kilogrammes le mètre et montés sur traverses en fer.

En alignement droit la largeur de ce tunnel est de 6 mètres ; elle atteint 6^{m},70 dans les courbes ; la hauteur est de 2^{m},85.

Ce tunnel a été creusé en tranchée ouverte, recouverte par un plafond qui est seulement à 0^{m},85 de la chaussée ; les parois sont constituées par un bétonnage de 1 mètre d'épaisseur. Les poutrelles, espacées de 1 mètre, prennent leur point d'appui sur ces parois ; elles sont soutenues en leur milieu par des piliers en fonte, espacés de 3 en 3 mètres.

La ligne électrique CC est double ; le retour se fait par les rails ; elle est constituée par des rails en cuivre à 1 mètre d'écartement et montés sur isolateurs en porcelaine, attachés

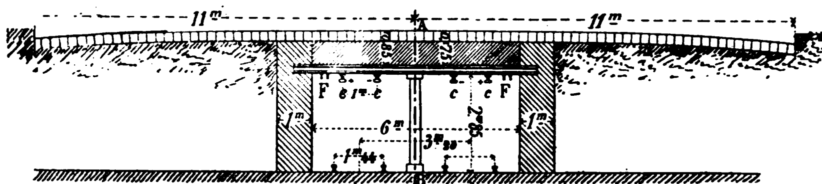


Fig. 214. — Vue en élévation.

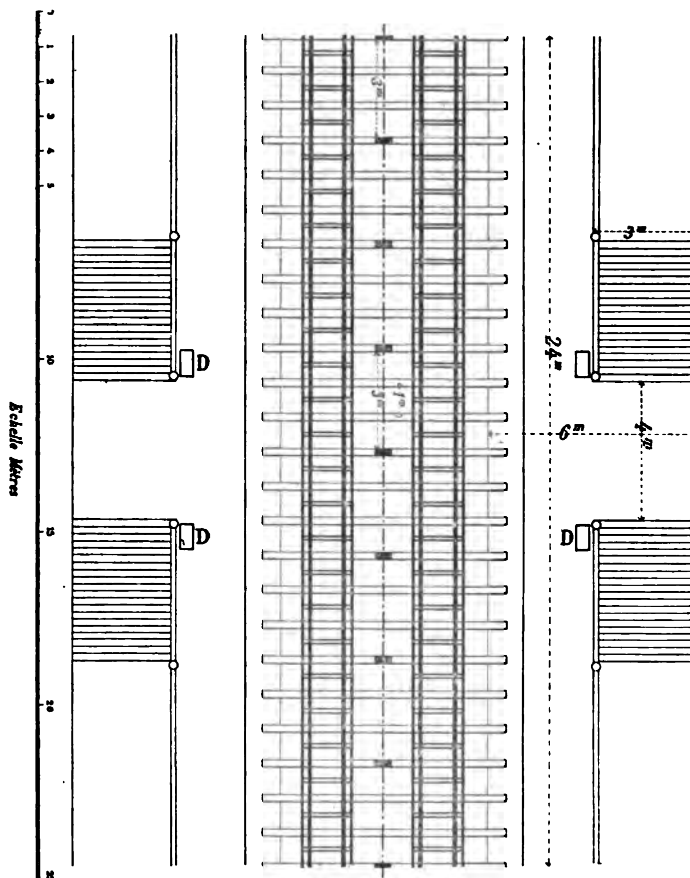


Fig. 215. — Vue en plan. — Disposition d'une station d'attente.

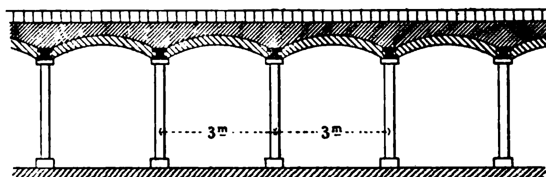


Fig. 216. — Coupe transversale.

au plafond de la voûte. Des feeders FF, placés de chaque côté de la ligne, font l'alimentation.

Il y a 11 stations, établies environ tous les 300 mètres ; cependant, quelques-unes sont distantes de 500 mètres. Un peu avant d'arriver à la station, le courant est coupé automatiquement, ce qui réduit *au minimum* la dépense d'énergie électrique.

A chaque station, des distributeurs automatiques DD distribuent les billets qui coûtent 20 centimes, quelle que soit la longueur du trajet parcouru.

Cette ligne est parcourue simultanément par 15 trains, composés de 2 voitures à 28 places chacune. Une réserve de 5 voitures automobiles et de voitures ordinaires est gardée au dépôt.

Cette ligne a coûté à établir 9 millions de francs, soit environ 2.400.000 francs par kilomètre. La concession est de 90 ans. Tout le matériel électrique a été fourni par la maison Siemens et Halske.

Les travaux de construction n'ont duré qu'une année ; ils ont été menés avec grande habileté, car la circulation n'a pas été sensiblement influencée ; cela avait une certaine importance, puisque ce chemin de fer souterrain occupe le sous-sol de la rue la plus belle et la plus fréquentée de Budapest.

Projet du Métropolitain électrique de Paris (1). — Le nouveau programme dressé pour l'étude du Métropolitain par la Commission municipale comprend les points suivants (*fig.* 217) :

1° Le réseau se compose d'une ligne circulaire, empruntant les boulevards extérieurs, d'une longueur de 23.138 mètres ;

2° Une ligne transversale ouest-est intérieure à la ligne circulaire et passant par la rue de Réaumur, d'une longueur de 7.638 mètres ;

3° Une ligne transversale nord-sud se raccordant avec la ligne circulaire et aboutissant au chemin de fer de Ceinture

(1) Étude de M. Maréchal : « La Traction et le Métropolitain », *Génie civil*, 1896.

(boulevard Sébastopol, les Halles, rue de Rennes prolongée), d'une longueur de 10.445 mètres;

4° La ligne sera à voie étroite de 1 mètre; la traction sera électrique ;

5° La construction sera faite par la ville de Paris;

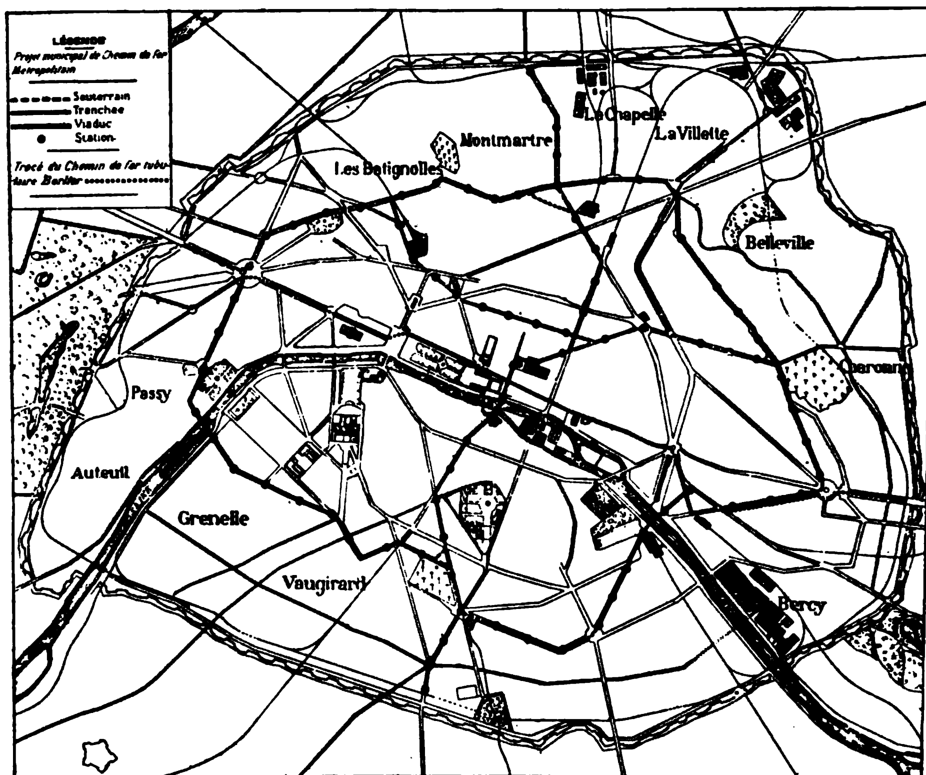


Fig. 217. Projet du Métropolitain électrique de Paris.

6° L'exploitation du réseau sera affermée.

La longueur totale de la ligne *circulaire* sera de 23.130^{m},00 dont 6.480 mètres en tunnel, 7.860 mètres en tranchée ouverte, et 8.780 mètres en viaduc; le développement *total* du métropolitain sera de 41.210 mètres.

Les tranchées et les viaducs auront une largeur totale

de 6 mètres, et les souterrains 6^{m},50, avec une hauteur de 4^{m},40, mesurée du rail à l'intrados de la voûte.

Les viaducs seront constitués par deux poutres de 1 mètre de hauteur et de 16 mètres de portée ; la hauteur au-dessus de la chaussée sera de 5 mètres, l'ensemble reposant sur des colonnes en fonte espacées de 4^{m},70 d'axe en axe.

La pente maxima ne dépassera pas 4 millimètres par mètre ; elle sera atteinte pour effectuer la traversée de la Seine et du canal Saint-Martin ; elle aura une longueur de 1.340 mètres ; le rayon minimum des courbes sera de 75 mètres ; il y aura 29 courbes de 75 mètres de rayon, 23 courbes de 100 mètres, 1 de 125 mètres, 8 de 150 mètres, 9 de 200 mètres, 10 de 250 mètres et 1 de 500 mètres.

Le réseau sera alimenté par 3 usines centrales situées à Vaugirard, à Charonne et à Montmartre.

La puissance prévue de l'usine serait de 22.000 chevaux-vapeur.

Cette puissance permettant de faire partir un train toutes les deux minutes et demie, l'arrêt à chaque station serait de trente secondes : il y aurait ainsi 24 trains en marche par heure sur la ligne circulaire, et 16 seulement sur les lignes transversales.

La dépense totale pour réaliser ce projet serait de 122.947.000 francs ; la longueur totale du réseau complet étant de 41^{km},210, le prix moyen du kilomètre serait de 2.983.400 francs. D'après l'étude des ingénieurs de la Ville, la dépense totale se répartirait ainsi :

	Francs		Francs
Infrastructure..........	88 000 000,	soit par kilomètre :	2 136 447
Superstructure..........	4 800 000	—	116 720
Matériel roulant.........	10 926 000	—	265 130
Puissance motrice......	15 221 000	—	369 352
Expropriation et acquisition des terrains......	4 000 000	—	97 061
	122 947 000		2 983 400

Les prix unitaires qui ont servi de base à cette estimation sont les suivants :

Souterrains	1 300 fr.	le mètre courant.
Tranchées	1 050	—
Viaducs	1 600	—
Plus-value pour les souterrains, où l'on emploiera l'air comprimé	3 000	—
Plus-value par station : en souterrain.	1 500	—
Plus-value par station : en tranchée et viaduc	1 800	—
Plus-value par traversée de rue	1 000	—
Voie courante double	60	—
Appareil de voie	1 200	l'un.
Plus-value par station, outillages, signaux :		
En tranchée ou en souterrain	20 000	l'une.
En viaduc —	50 000	—
Dépôt et ateliers	150	le mètre superficiel.
Force motrice	508	par cheval-heure à l'usine.
Distribution d'énergie électrique et accessoires	100	le mètre courant.
Voitures (600)	15 000	l'une.

Il est intéressant de rechercher, par comparaison avec les métropolitains existants à l'étranger, quels seront les frais d'exploitation du Métropolitain de Paris.

Le réseau, étant à double voie, a un développement total de 94.255 mètres. En moyenne, il y aura en circulation 8 trains à l'heure dans chaque sens ; la durée du service journalier sera de dix-huit heures.

Le nombre de trains-kilomètres sera donc, par jour, de :

$$94.255 \times 2 \times 8 \times 18 = 27.145 \text{ trains-kilomètres.}$$

Par an, on aura :

$$27.145 \times 365 = 9.907.925 \text{ trains-kilomètres.}$$

Chaque train comprendra 4 voitures, dont deux voitures automobiles et 2 voitures remorquées ; le nombre de places sera de 176.

Maintenant, évaluons par comparaison le prix de revient des frais d'exploitation du train-kilomètre.

Évaluation probable du prix du train-kilomètre. — En Angleterre (Londres et Liverpool), comme nous l'avons vu, le train-kilomètre revient, tout compris, de 1 franc à 0 fr. 91. Dans ces prix, les dépenses résultant de la traction proprement dite sont de 45 et 42 centimes.

Il faut se rappeler que le train du métropolitain parisien aura une capacité double de celle du train des métropolitains anglais. De sorte qu'on peut évaluer les frais résultant de la traction seule à 67,5 centimes.

Les autres frais dépendent moins de la capacité du train considéré : ils sont à Londres de 52 centimes, on peut donc les majorer de 10 pour cent, et on aura, pour Paris, 57,2 centimes.

Le train-kilomètre, à Paris, reviendra donc à :

$$0{,}675 + 0{,}572 = 1{,}242, \text{ soit } 1 \text{ fr. } 25.$$

La dépense pour les 9.907.925 trains-kilomètres annuels sera donc de :

$$9.907.925 \times 1{,}25 = 12.384.906$$

Soit, en chiffre rond, 12.400.000 francs.

Si l'on ajoute à ces dépenses, d'autres frais, tels ceux de l'éclairage, de l'entretien général et, en particulier, de l'entretien des viaducs, etc., et qu'on peut évaluer à 2.500.000 fr., on aura une dépense totale de 15 millions.

Comme le prix moyen de la place sera de 0 fr. 20, on voit que, pour couvrir les dépenses d'exploitation, il faudra :

$$\frac{15.000.000}{0{,}20} = 75.000.000 \text{ de voyageurs.}$$

On peut dire que ce chiffre est inférieur à celui que la pratique donnera, car, si l'on fait le relevé statistique des voyageurs ayant parcouru les lignes de tramways et omnibus desservant le même parcours, on trouve le chiffre de 87 millions environ, comme le donne le décompte suivant :

STATISTIQUE DES VOYAGEURS TRANSPORTÉS SUR LES PRINCIPALES LIGNES DE TRAMWAYS ET OMNIBUS POUR L'ANNÉE 1895.
ET SUIVANT LE MÊME PARCOURS QUE LE MÉTROPOLITAIN PROJETÉ

A. — TRAMWAYS

Ligne de Étoile-La Villette	8 296 297
— Trocadéro-La Villette	2 965 468
— Place Pigalle-Trocadéro	713 706
— La Villette-Place de la Nation	3 810 725
— Gare Montparnasse-Bastille	4 768 781
— Étoile-Gare Montparnasse	4 612 938
— Cours Vincennes-Louvre	9 085 471
— La Muette-Taitbout	3 749 788
— Saint-Ouen-Bastille	10 695 823
— Montrouge-Gare de l'Est	12 539 206
— La Chapelle-Square Monge	5 800 427

B. — OMNIBUS

Ligne de Passy-Bourse	1 947 299
— Madeleine-Bastille	14 563 657
— Gare Saint-Lazare-Place de la République (Omnibus spéciaux)	3 400 000
Total des voyageurs transportés	86 950 186

D'autre part, les frais de premier établissement seraient de 123 millions en chiffres ronds. La ville de Paris fera cette dépense, couverte au moyen d'un emprunt amortissable en cinquante ans par exemple ; il faudra donc, pour assurer l'intérêt à 2,5 pour cent et l'amortissement de 0,5 pour cent, soit un total de 3 pour cent, une somme égale à :

$$1.23000.000 \times 0,03 = 3.690.000,$$

soit un trafic supplémentaire de voyageurs égal à :

$$\frac{3.690.000}{0,20} = 18.450.000$$

Le service financier et les frais d'exploitation totaux seront donc couverts par un trafic égal à :

$$75.000.000 + 18.450.000 = 93.450.000 \text{ voyageurs},$$

soit 93 millions et demi de voyageurs.

Nul doute, comme nous le disions plus haut, que cette probabilité se réalise, car le métropolitain présentera des avantages réels sur tous les autres moyens de locomotion en commun : confortable, vitesse, prix réduit, etc.

Le Métropolitain de Paris serait heureusement complété par le projet du tube Berlier, qui partirait de Bercy pour arriver à la Porte-Maillot, en suivant la rue de Rivoli ; la ligne circulaire serait ainsi coupée dans son plus grand diamètre, ce qui donnerait plus de commodité pour traverser Paris dans ce sens.

Pour terminer, disons que l'idée d'affermer cette exploitation à une Compagnie est très heureuse, car le bon rendement financier en est ainsi plus assuré que si la Ville de Paris faisait l'exploitation elle-même : une société étant mieux placée, à tous points de vue, qu'une ville pour faire ce genre d'exploitation.

CHAPITRE II

LES LOCOMOTIVES ÉLECTRIQUES ET LES CHEMINS DE FER ÉLECTRIQUES A GRANDE VITESSE

Considérations générales sur la vitesse d'un train. — Réalisation de ces conditions dans les locomotives électriques. — Comparaison des puissances dépensées, sur un même profil, par une locomotive électrique et une locomotive à vapeur. — Economie résultant de l'emploi des locomotives électriques sur les locomotives à vapeur. — Comparaison des prix d'exploitation de ces deux modes de traction. — Puissance nécessaire pour remorquer une machine électrique. — Locomotives électriques construites : la locomotive Siemens et Halske. — La locomotive électrique de la Baltimore and Ohio Railroad C° : description générale ; données de construction, puissance, etc. — Dépense d'exploitation de cette locomotive électrique, prix de revient du train et de la tonne kilométrique. — Les locomotives électriques de la General Electric C°. — Locomotive électrique de MM. Sprague-Duncan-Hutchinson. — Locomotive électrique, système J.-J. Heilmann : Description générale. Essais pratiques de *la Fusée*. Différents projets de locomotives électriques. — Soulagement de la voie de roulement avec des locomotives électriques. — Résultats pratiques obtenus avec les locomotives électriques. — Limite de la vitesse des chemins de fer électriques à grande vitesse. — Premier projet de chemin de fer électrique à grande vitesse de M. C. Zipernowski ; description générale. — Projet de la ligne New-York-Chicago : prix d'établissement. — Prix du train kilométrique ; revenu probable. — Réalisation pratique des chemins de fer à grande vitesse.

Avant d'examiner quelles conditions doivent remplir les locomotives électriques pour faire de la traction à grande vitesse, rappelons, en quelques mots, les *desiderata* que doivent remplir une locomotive quelconque, à vapeur ou électrique, pour arriver à ce résultat.

Considérations générales sur la vitesse d'un train. — Le facteur le plus important, à notre avis, pour atteindre de grandes vitesses commerciales, est que la locomotive doit

avoir une élasticité de puissance assez grande pour gravir les rampes moyennes de 5 millimètres par mètre, à pleine vitesse, c'est-à-dire entre 85 et 100 kilomètres à l'heure. Pour arriver à ce résultat, il faudra que la locomotive à vapeur considérée ait une chaudière assez puissante ayant en réserve une quantité de vapeur suffisante pour gravir les rampes et à ce moment vaporiser suffisamment pour satisfaire à la demande de la machine à vapeur.

Au point de vue mécanique, il faut que le boggie d'avant de la locomotive soit *aussi peu chargé* que possible et que son axe se rapproche, autant que possible, du milieu de la traverse d'avant : le porte-à-faux de l'avant de la locomotive est ainsi supprimé, et la locomotive peut attaquer plus franchement la voie : on peut ainsi arriver à *passer en vitesse* les aiguilles, les gares et, en général, tous les points où le service recommandait naguère un ralentissement qui est si préjudiciable pour atteindre des vitesses commerciales élevées, car on perd, pour ces causes, le bénéfice de la vitesse acquise, et il faut, dans ce cas, redonner un coup de collier pour reprendre la vitesse primitive : d'où une perte de puissance, de temps, et une augmentation de la dépense du combustible.

Réalisation de ces conditions dans les locomotives électriques. — Les conditions de puissance énumérées ci-dessus seront facilement remplies par les locomotives électriques à prise de courant, car, dans ce cas, on fournit à la locomotive, à chaque instant, la puissance électrique dont elle a besoin pour remorquer le train, sur les rampes, à la vitesse maxima compatible avec la sécurité de marche.

Les conditions mécaniques sont également remplies, puisqu'on peut disposer les organes des moteurs électriques à volonté : l'attaque de la voie se fait donc dans les meilleures conditions possibles.

Les mêmes conditions de puissance et de disposition mécanique sont remplies dans la locomotive électrique, genre mixte, système J.-J. Heilmann, comme nous le verrons plus loin.

Enfin, un point sur lequel il faut bien fixer l'attention des spécialistes est, dans la locomotive électrique, quel que soit son système, la diminution du coefficient de traction, par rapport à celui de la locomotive à vapeur.

Ce facteur qui, dans les locomotives à vapeur, même les plus perfectionnées, varie de 11 à 15 kilogrammes par tonne, descend de 6 à 9 kilogrammes dans la locomotive électrique : cela tient à la suppression des organes mécaniques (piston, bielle, etc.) et au mouvement rotatif des moteurs électriques, qui est substitué au mouvement rectiligne, transformé en rotatif, de la locomotive à vapeur.

Comparaison des puissances dépensées, sur un même profil par une locomotive électrique et une locomotive à vapeur. — Pour nous rendre compte de l'importance de ce facteur, nous allons comparer la puissance à développer :

1° Dans le cas d'une locomotive à vapeur, ayant un coefficient moyen de traction de 12 kilogrammes par tonne (ce qui est un minimum);

2° Dans le cas d'une locomotive électrique, ayant un coefficient de 9 kilogrammes par tonne (ce qui est un maximum).

Nous ferons circuler ces deux locomotives remorquant un train de 60 tonnes à une vitesse de 80 kilomètres à l'heure, et cela sur un profil présentant une rampe uniforme de 5 millimètres par mètre.

La locomotive à vapeur pesant 37 tonnes ; le tender, 27,5 tonnes ; la locomotive électrique, 75 tonnes ; le coefficient de traction, pour les voitures, étant de 9 kilogrammes par tonne : on aura :

A. — *Locomotive à vapeur.* — Il faudra qu'elle développe la puissance suivante :

1° Pour la locomotive : $\frac{37^{T} \times (12 + 5) \times 22{,}2}{75} = 186$ chevaux

2° Pour le tender : $\frac{27{,}5 \times (9 + 5) \times 22{,}2}{75} = 114$ —

3° Pour les wagons : $\frac{60 \times (9 + 5) \times 22{,}2}{75} = 248$ —

548 chevaux

soit un total de 548 chevaux, soit 550 chevaux en chiffre rond.

B. *Locomotive électrique.* — Dans les mêmes conditions, elle devra développer la puissance suivante :

$$\frac{(60 + 75) \times (9 + 5) \times 22,2}{75} = 280 \text{ chevaux.}$$

On voit donc que l'économie dans le cas de la traction électrique est de :

$$\frac{270 \times 100}{550} = 49 \text{ pour cent.}$$

Si la vitesse est moins grande, l'économie est un peu moins sensible, car le coefficient de traction se trouve diminué. En effet, en supposant la vitesse ordinaire d'un train de voyageurs, soit 50 kilomètres à l'heure, sur une rampe de 5 millimètres par mètre, on a:

A. — Pour la traction à vapeur:

1° Pour la locomotive: $\frac{37 \ (12 + 5) \times 13,9}{75} = 116$

2° Pour le tender: $\frac{27,5 \times (6 + 5) \times 13,9}{75} = 56$

3° Pour les wagons : $\frac{160 \times (6 + 5) \ 13,9}{75} = 326$

498

soit 500 chevaux.

B. — Pour la traction électrique:

$$\frac{(60 + 75) \ (6 + 5) \times 13,9}{75} = 341 \text{ chevaux,}$$

soit une économie de 32 pour cent seulement.

Comparaison des frais d'exploitation de ces deux modes de traction. — Il résulte de cette économie de puissance une économie correspondante dans les frais d'exploitation, et nous donnons, dans le tableau comparatif suivant, les chiffres se rapportant aux divers chapitres pour

la dépense par 1.000 kilomètres parcourus, ce qui permet de fixer les idées :

	TRACTION à vapeur	TRACTION électrique
A. — Entretien, réparations et remplacement des diverses parties de la locomotive..	119,00	62,50
B. — Combustible employé..................	128,00	65,00
C. — Graissage et nettoyage.................	13,75	6,25
D. — Eau d'alimentation....................	12,50	12,50
E. — Amortissement du capital..............	102,50	102,50
F. — Appointements des mécaniciens et chauffeurs...............................	137,50	87,50
G. — Primes d'encouragement au personnel..	12,50	12,50
Total..........	625,75	348,75

Il y aurait lieu d'ajouter, pour la traction électrique, l'entretien et l'amortissement de la ligne (on peut dire que la ligne électrique double aurait coûté 25.000 francs environ par kilomètre). Si les voies sont parcourues par 50 trains par jour, l'amortissement réparti sur 1 000 kilomètres serait de 14 francs, auquel il faut ajouter l'entretien évalué à 6 francs, soit 20 francs à ajouter au total trouvé, 348 fr. 75, soit en tout 369 francs.

L'économie réalisée dans le cas de la traction électrique, sur la traction à vapeur, serait donc de:

$$\frac{(626 - 369)}{6,26} = 41 \text{ pour cent.}$$

Puissance nécessaire pour une locomotive électrique. — Il existe bien peu de renseignements sur la puissance nécessaire pour remorquer une locomotive électrique à grande vitesse.

M. Crosby indique que, pour remorquer une voiture pesant 60 tonnes à 200 kilomètres à l'heure sur une rampe de 6 millimètres par mètre, il faut développer 450 chevaux aux moteurs ; dans cette puissance, 100 chevaux seraient nécessaires pour vaincre les résistances diverses, dues aux courbes, au frottement de l'air sur les parois, au frottement dû au roulement, aux pertes causées par le mouvement latéral, etc.

La puissance maxima ne dépasserait pas 800 chevaux, et il suffirait, dans le cas indiqué, d'avoir quatre moteurs de 200 chevaux pour parer à tout.

En résumé, en supposant un temps favorable, chaque voiture automobile aurait besoin de :

260 kilowatts en palier
600 — en rampe de 5 millimètres par mètre.

Si l'on supposait des circuits secondaires à 500 volts, il faudrait donc compter respectivement 520 ampères et 1.200 ampères par voiture. Nous allons donner la description et les renseignements concernant les locomotives électriques actuellement existantes.

Toutes ces locomotives électriques sont *automobiles* et prennent l'énergie nécessaire à leur propulsion à la façon d'un tramway ordinaire: on retrouve ici le fil de travail qui peut être aérien ou posé directement à côté ou au milieu de la voie de roulement.

Locomotives électriques construites. — *Locomotive Siemens et Halske.* — La première locomotive électrique fut construite, en 1879, par la maison Siemens et Halske, qui commençait à cette époque ses premiers essais de traction électrique. Cette locomotive est représentée en coupe dans la figure 218. Le moteur électrique D était placé parallèlement à l'axe de la voie. A droite, on remarque le collecteur; à gauche, la transmission du mouvement à l'essieu moteur, qui se faisait par une série d'engrenages.

Le courant était pris, sur un conducteur, monté sur des traverses, au moyen d'un balai frotteur: le retour du courant se faisait par les rails de la voie de roulement.

La puissance de cette première locomotive était de 3 à 4 chevaux: elle pouvait remorquer, à la vitesse de 13 kilomètres à l'heure, trois wagonnets, contenant chacun 8 personnes.

Comme on le verra par la suite, ce premier essai contenait le principe complet des locomotives électriques à prise de courant: nous retrouverons, en effet, dans les types de

locomotives électriques les plus récents, chacun de ces organes, qui a été très perfectionné, mais auquel rien de spécial n'a été ajouté.

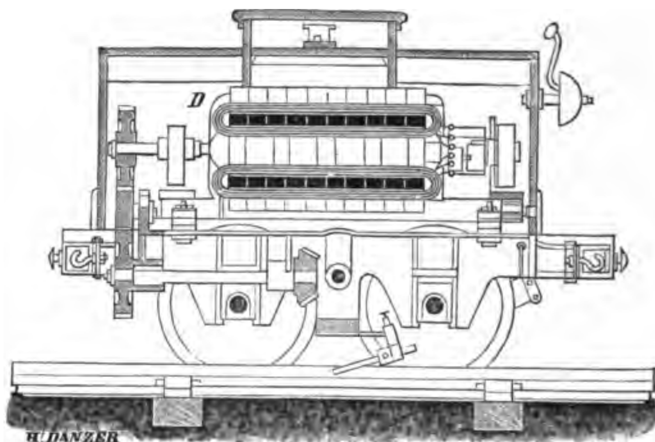


Fig. 218. — La première locomotive électrique construite par MM. Siemens et Halske (1879).

Nous allons examiner chacun des types récemment construits ; ils sont peu nombreux, car il n'y a que quelques années qu'on sait établir des locomotives électriques puissantes.

Locomotive de la Baltimore and Ohio-Railroad C°. — Cette Compagnie a appliqué la traction électrique à la traversée souterraine de la ville de Baltimore qui était nécessaire d'après les nouvelles conditions d'exploitation. Jusqu'à ces dernières années, cette Compagnie, dont le réseau suivait le tracé indiqué *abcd* (*fig.* 219), transbordait, sur un bateau, ses trains arrivant en *b*, pour traverser le fleuve Patapsco, trop large et trop rapide à cet endroit pour y construire un pont : le train continuait son chemin, venait toucher Baltimore en M, et repartait dans la direction *d*, sur Washington. Pour éviter cette manœuvre compliquée et, par conséquent, coûteuse, une ligne nouvelle *ar*P, a été construite : elle traverse la rivière en un endroit peu large et vient toucher Baltimore en P. Pour regagner l'ancien

tracé M*d*, on a été obligé de percer le tunnel MP, et c'est dans cette partie qu'une locomotive électrique remorque le train et sa locomotive à vapeur au repos complet. Les pentes et les difficultés d'aération que présentait ce tunnel rendaient seul possible l'emploi de la traction électrique ;

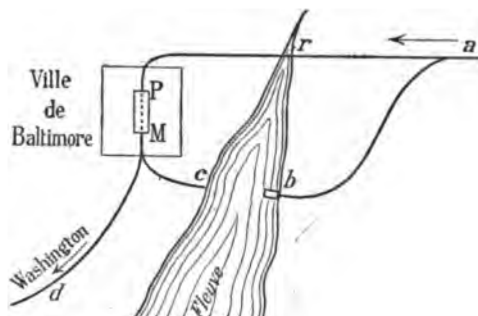


Fig. 219.

à cet effet, la Compagnie exploitante a posé le programme suivant à la General Electric C° qui a construit les locomotives actuellement existantes :

Les locomotives devraient remorquer sur une rampe de 8 millimètres par mètre d'une longueur de 5 kilomètres, un train de marchandises de 1.200 tonnes à la vitesse de 25 kilomètres à l'heure ; les trains de voyageurs pèseront 500 tonnes et seront remorqués à la vitesse de 50 kilomètres à l'heure.

Le type de locomotive qu'a construit la General Electric Company, pour satisfaire à ces exigences, présente les particularités suivantes (*fig*. 220).

Les dimensions principales de la locomotive sont :

Poids..............................	90 tonnes.
Longueur totale....................	15^{m},40
Hauteur —	4^{m},34
Largeur —	2^{m},90
Empâtement des roues d'un truck....	2^{m},08
Empâtement total..................	11^{m},84
Diamètre des roues................	1^{m},574
Nombre de roues motrices..........	12

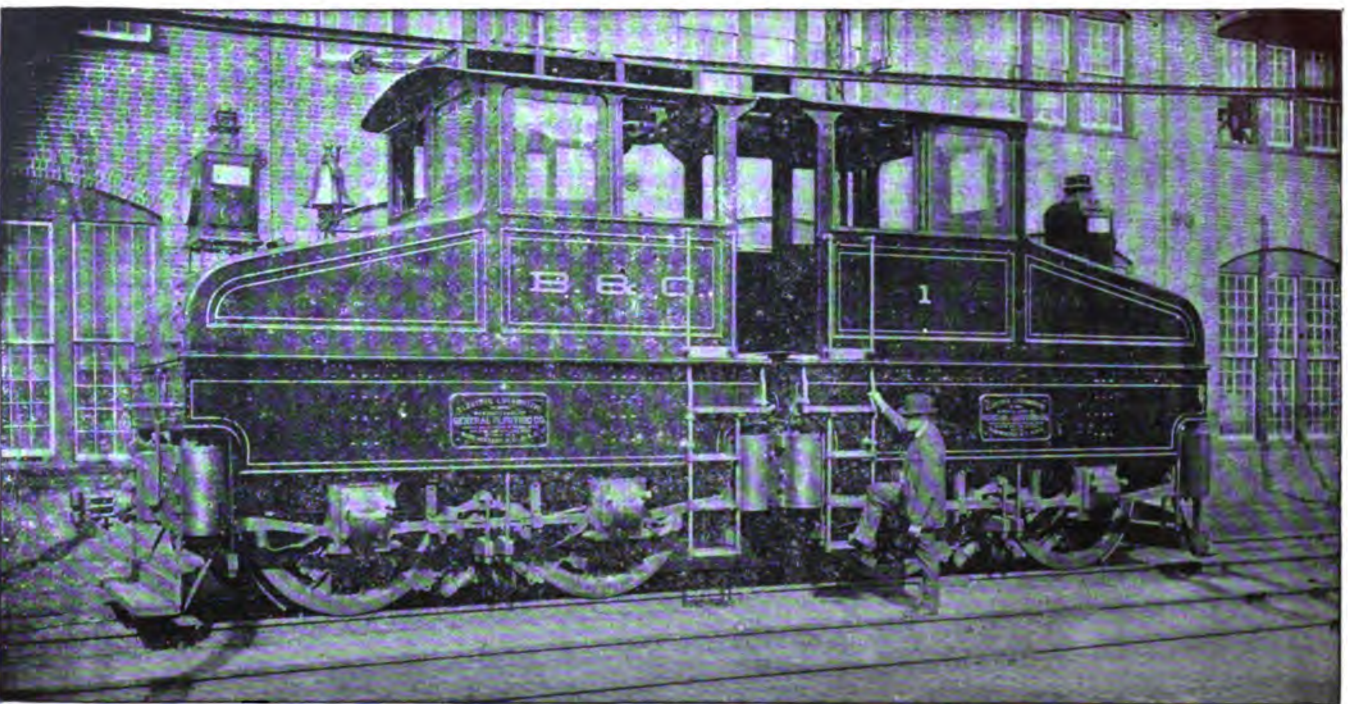


Fig. 220 — Locomotive électrique de 90 tonnes construite par la General Electric C°.

La puissance de cette locomotive (*fig.* 220), à prise de courant au moyen d'un trolley, est de 1.600 chevaux, répartis sur 6 moteurs d'une puissance de 225 kilowatts chacun.

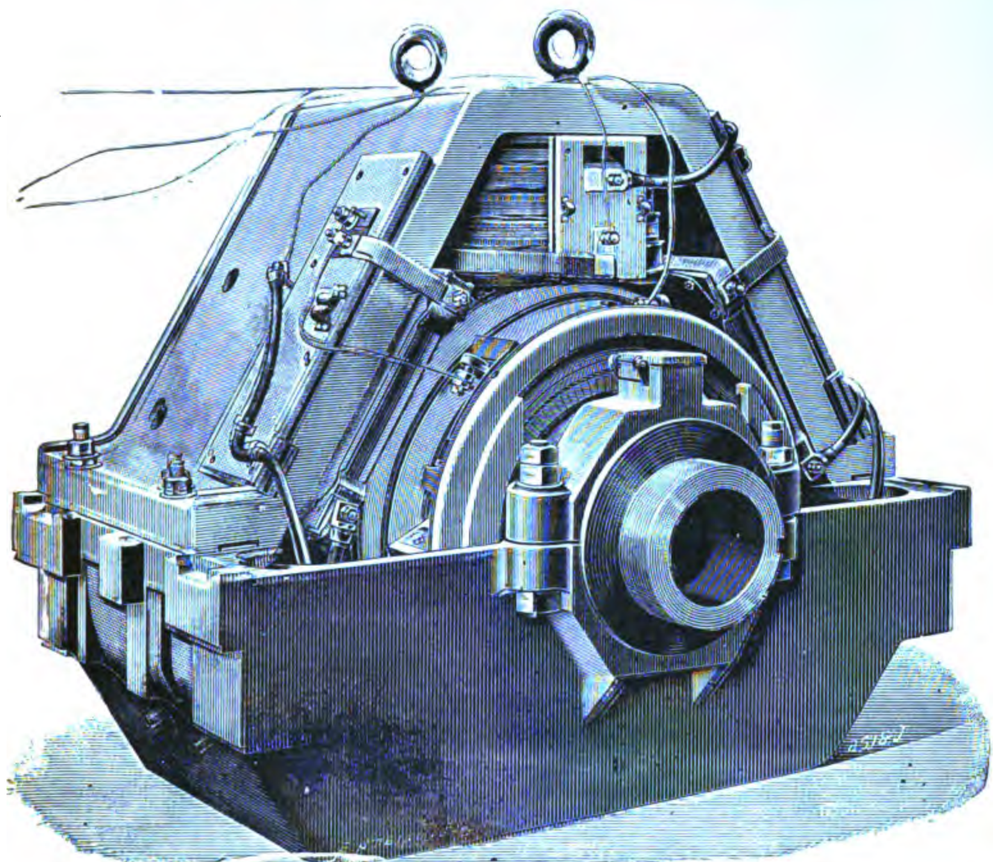


Fig. 221. — Aspect extérieur d'un moteur de la locomotive de 90 tonnes étudiée par la General Electric Cᵉ pour la Baltimore and Ohio Railroad Cᵉ.

Le châssis de la locomotive est monté sur trois trucks, ayant chacun deux essieux, sur lesquels sont montés les moteurs électriques.

Ces moteurs (*fig.* 221) ressemblent, comme disposition

générale, aux moteurs Short; les induits sont montés sur des axes creux, concentriques aux essieux et reliés à ceux-ci par un accouplement élastique.

Ces moteurs sont maintenus par le truck lui-même; on évite ainsi l'action détériorante sur les isolants des trépidations, qui proviennent des secousses presque impossibles à éviter, puisqu'elles sont dues à la voie elle-même.

Les inducteurs ont six pôles. La vitesse angulaire des moteurs est de 70 tours par minute.

Dans ces conditions l'effort de traction maximum est de 27.000 kilogrammes, l'effort moyen est de 15.000 kilogrammes, soit un coefficient de traction de $11^{kg},6$ par tonne :

$$\left(\frac{15.000}{1\,2000 + 90} = 11{,}6\right),$$

y compris la locomotive, sur une rampe de 5 millimètres, soit un effort de $6^{kg},6$ en palier : ce qui est très normal pour ce genre de locomotive.

Dans ces conditions la puissance à développer sera de :

$$\frac{15.000 \times 25.000}{75 \times 3.600} = 1.580 \text{ chevaux-vapeur},$$

soit 1.600 chevaux-vapeur.

Résultats d'expériences. — Ces locomotives mises en service n'ont pas donné tous les résultats qu'on en attendait. Avec la charge de 1.200 tonnes (30 wagons à marchandises) on n'a pu atteindre que des vitesses égales à la moitié de celles qui avaient été prévues, soit de 12 à 15 kilomètres à l'heure: la raison en a été aux moteurs qui n'étaient pas capables de recevoir la puissance électrique nécessaire pour atteindre la vitesse prévue de 25 kilomètres à l'heure.

On a toutefois remarqué que les démarrages se faisaient rapidement, car la vitesse de 12 à 15 kilomètres à l'heure était atteinte en une minute.

Un essai fut fait avec une charge de 1.930 tonnes : ce qui correspond à 52 wagons chargés; au moment du démarrage, l'intensité variait de 1.800 à 2.200 ampères (sous 625 volts). Avec les tonnages indiqués, en marche normale, une fois la vitesse atteinte, l'intensité moyenne était de 1.600 à 1.800 ampères. L'effort exercé sur la barre d'attelage de la locomotive électrique était de 28.000 kilogrammes environ. Pour obtenir cet effort, les 4 moteurs de la locomotive étaient mis en série.

Le prix du train-kilomètre a été établi; il ressort à 71,5 centimes. A conditions égales, c'est celui auquel revient la traction à vapeur; mais il faut tenir compte du *trafic peu intense*, et que cet exemple est tout à fait particulier, puisque l'on a cherché à résoudre une difficulté et qu'en somme l'*avantage* est resté à la traction électrique qui a pu faire ce que la traction à vapeur ne permettait pas.

Le rendement total a été calculé et trouvé égal de 60 à 65 pour cent.

L'une des principales difficultés dans cet essai a été la prise de courant; le conducteur était attaché au plafond du tunnel, et, comme il passait à chaque instant des locomotives à vapeur, il se déposait sur lui de la vapeur d'eau qui rendait les contacts difficiles avec le trolley, composé d'un chariot; il jaillissait de telles étincelles que ce système de prise de courant a dû être abandonné.

De plus, les pertes, par mauvais isolement, étaient élevées: elles atteignaient jusqu'à 21 ampères, sous 625 volts.

Plusieurs méthodes furent essayées pour supprimer ces difficultés. résultant du mauvais contact. Actuellement, on nettoie la ligne, une fois par mois, avec du pétrole, et on promène une sorte de chariot-gratteur qui polit la ligne et permet d'obtenir de bons contacts. Depuis que ces précautions sont prises, la perte en ligne est tombée de 21 à 4 ampères (sous 625 volts).

D'autres essais ont été faits en remorquant un poids inférieur au précédent. Pour des trains pesant 800 tonnes, sur la même rampe de 8 millimètres, l'ampèremètre donnait, au démarrage, de 1.800 à 2.000 ampères; en marche normale,

800 ampères, et cela au bout d'une minute de mise en marche. Ces données, consignées dans les courbes des figures 222 à 224, permettent de se rendre compte de quelle façon

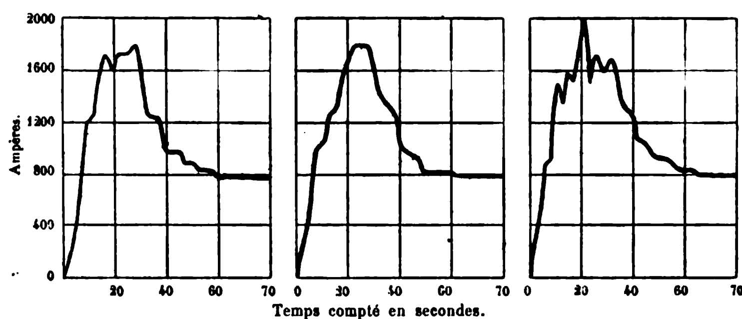


Fig. 222-223-224. — Courbes donnant l'intensité de courant au démarrage.

s'effectue le démarrage et comment l'effort diminue à mesure que le train augmente de vitesse. A ce point de vue spécial, nous donnons, dans la figure 225, la représentation

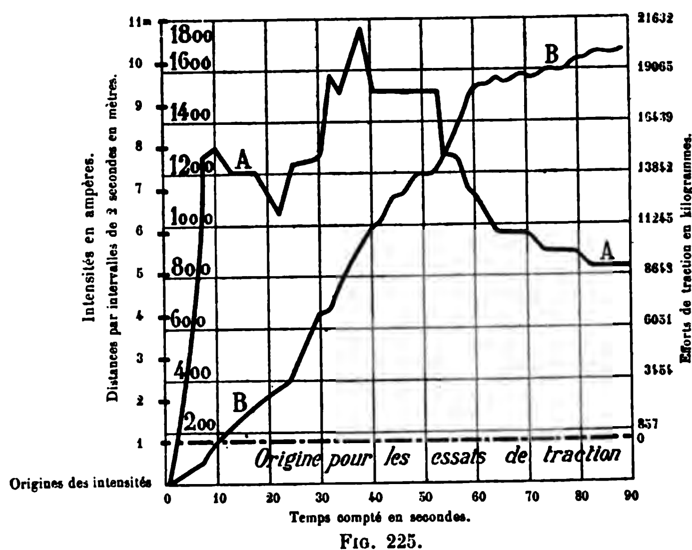


Fig. 225.

par courbe de ces deux données : la courbe A donne les intensités en ampères et les efforts de traction correspondant; la courbe B est celle des accélérations. L'accélé-

ration était déterminée de deux en deux secondes, en jetant à cet intervalle de temps, sur le sol, des boulettes blanches. Ces essais permirent de déterminer exactement l'effort de traction et le coefficient de résistance au roulement en palier.

D'après les courbes, on peut en effet mesurer l'effort total de traction ; en le divisant par le nombre de tonnes remorquées, on a l'effort de traction par tonne : sur la rampe de 8 millimètres, il était égal à 11 kilogrammes par tonne; comme l'on a un effort supplémentaire de 1 kilogramme par millimètre, on voit que l'effort de traction en palier, qui n'est autre que le coefficient de résistance au roulement, est de : 11 — 8 = 3 kilogrammes.

On détermina ensuite l'effort qu'il fallait faire pour remorquer un nombre connu de wagons, pesant le même poids. On trouva que, pour un effort de 13 kilogrammes, il fallait 1 ampère sous 625 volts : il résulte de ceci que, pour connaître l'effort développé remorquant un train d'un poids déterminé, il suffit de multiplier le nombre d'ampères donnés à l'ampèremètre totalisateur par 13.

Inversement, si l'on connaît ce nombre d'ampères, on déduit l'effort développé et, par suite, le poids du train remorqué, puisqu'il suffit, en palier, de le diviser par 3.

On voit combien, en traction électrique, *il est facile* de déterminer, avec un ampèremètre, tous les coefficients et éléments qui nécessitent dans la traction à vapeur tout un ensemble d'appareils compliqués et difficilement réglables: on suit même, à chaque instant, de quelle façon l'on travaille, puisqu'on a constamment, sous les yeux, l'ampèremètre qui sert de guide.

Prix de revient du train-kilomètre et de la tonne-kilomètre. — On est encore peu fixé sur le prix de revient du train-kilomètre, dans les conditions indiquées ci-dessus. Cependant voici quelques renseignements concernant les dépenses faites pendant le mois d'octobre 1895 et le service effectué :

1° DÉPENSES A LA STATION CENTRALE

Salaires	6.728,50
Charbon (7 fr. 45 la tonne)	2.004,80
Huile et chiffons	756,30
Eau	253,30
Entretien	127,10
	9.870,00

2° DÉPENSES POUR LA LOCOMOTIVE

Mécaniciens	1.000
Huile et chiffons	60,80
	1.060,80

Le total des dépenses a donc été :

9.870 + 1.069,80 = 10.930 fr. 80.

Elles ont été faites pour effectuer le service suivant :

Nombre de trains remorqués	353
Poids moyen de chaque train, en tonnes	995
Durée moyenne de chaque voyage, en minutes	20
Intensité moyenne du courant, en ampères	986
Longueur du trajet, en mètres	6.400
Longueur totale du trajet effectué, en mètres	2.272.000
— y compris le temps des repos	6.043.000

Si de ces chiffres on déduit le prix du train-kilomètre, dans les conditions de tonnage indiquées, on voit qu'il ressort à :

Nombre d'heures du service effectif	118
— y compris les repos	626

1° Par kilomètre *effectivement parcouru* à	4 fr. 81
Le prix de la tonne-kilomètre correspond à	0 fr. 0048
2° Par kilomètre y compris les temps de repos à	1 fr. 80
Le prix de la tonne-kilomètre correspond à	0 fr. 0018
3° Par kilomètre effectivement parcouru et y compris les repos à	1 fr. 31
Le prix de la tonne-kilomètre correspond à	0 fr. 00131

Il faut bien remarquer que ces dépenses ont été faites avec *une seule locomotive* en service, ce qui est loin d'être favorable. Le service régulier doit comprendre 3 locomotives. Si l'on cherche à établir, sur les bases données plus haut, quelle sera la dépense et le prix du train-kilomètre, dans les conditions de fonctionnement normal de la ligne, on arrive aux chiffres suivants :

	DÉPENSES totales	KILOMÈTRES totaux	PRIX du train-kilomètre en francs	PRIX de la tonne-kilomètre en francs
Pour 1 locomotive en service	10.931	8.315	1,32	0,00131
— 2 —	14.377	16.630	0,86	0,00086
— 3 —	17.823	24.946	0,72	0,000715

Ces prix ont été établis en supposant que les salaires à la station centrale seraient constants et que les autres dépenses varient proportionnellement.

Si l'on cherche à comparer ces prix à ceux que donnerait la traction à vapeur, on trouve les chiffres suivants :

La moyenne du prix total de traction, pour un train-kilomètre de 300 tonnes, est de 0 fr. 850 (moyenne des cinq grandes Compagnies françaises) ; le prix de la tonne-kilomètre ressortirait donc à 0 fr. 0,0283.

On voit que, si l'on compare les chiffres ci-dessus à celui-ci, on a avantage à faire de la traction électrique.

Disons, toutefois, que les éléments de calcul pratique manquant, ces chiffres ne sont indiqués que pour donner une idée de l'ordre de grandeur qui leur est propre et ne sont donnés qu'à *titre purement indicatif.*

Locomotives électriques de la General Electric C°. — Cette importante Compagnie, qui a construit la plupart des tramways électriques en Amérique, a construit deux locomotives électriques du même genre : l'une de 30 tonnes et l'autre de 40 tonnes.

Les constantes et éléments principaux de ces deux locomotives sont les suivants :

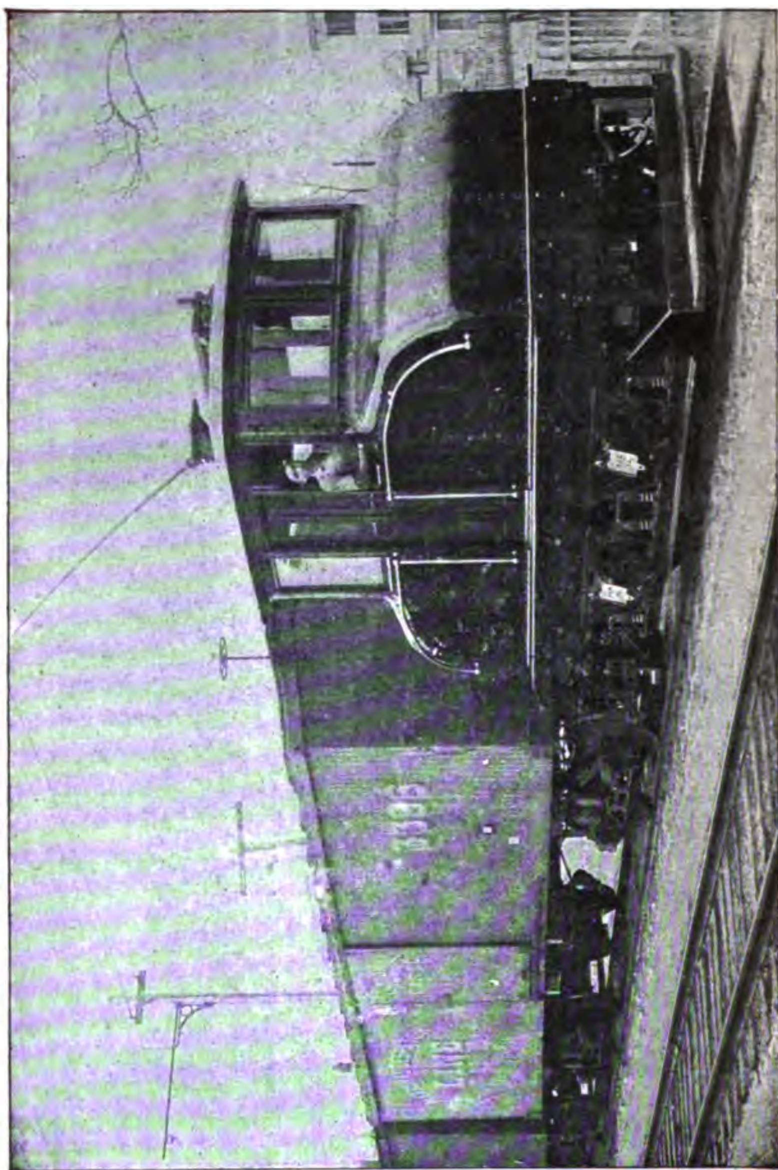


Fig. 226. — Locomotive de 40 tonnes de la General Electric C°.

A. — LOCOMOTIVE DE 30 TONNES

Poids en tonnes	30
Hauteur totale en mètres	3,51
Longueur —	5,53
Largeur —	2,51
Empâtement des roues	2,10
Effort de traction maximum au démarrage en kilogs	6.500
Vitesse en kilomètres à l'heure	50

B. — LOCOMOTIVE DE 40 TONNES

Poids en tonnes	40
Hauteur totale en mètres	3,86
Longueur —	7,31
Largeur —	2,54
Empâtement des roues	1,83
Effort maximum au démarrage en kilogs	6.700
Vitesse en kilomètres à l'heure	50

La locomotive de 30 tonnes est à deux essieux indépendants ; les moteurs sont montés sur ces essieux par l'intermédiaire d'arbres creux, l'entraînement se faisant au moyen d'un accouplement élastique.

Dans la locomotive de 40 tonnes (*fig.* 226), les moteurs sont soutenus d'un côté par l'axe moteur, de l'autre ils sont fixés au châssis de la même manière que pour les moteurs de tramways, du même système. La puissance de ce moteur (*fig.* 227) est de 100 kilowatts.

Les inducteurs sont à quatre pôles et sont attachés au châssis par l'intermédiaire de ressorts.

Dans ces deux locomotives, la manœuvre des moteurs et le réglage de la vitesse se font, comme dans les tramways, par le couplage des moteurs entre eux, avec une résistance variable intercalée.

Ces locomotives sont munies du frein à air Westinghouse.

Locomotive électrique de MM. Sprague, Duncan et Hutchinson.— Cette locomotive, étudiée par MM. Sprague, Duncan et Hutchinson, a été construite, pour la partie élec-

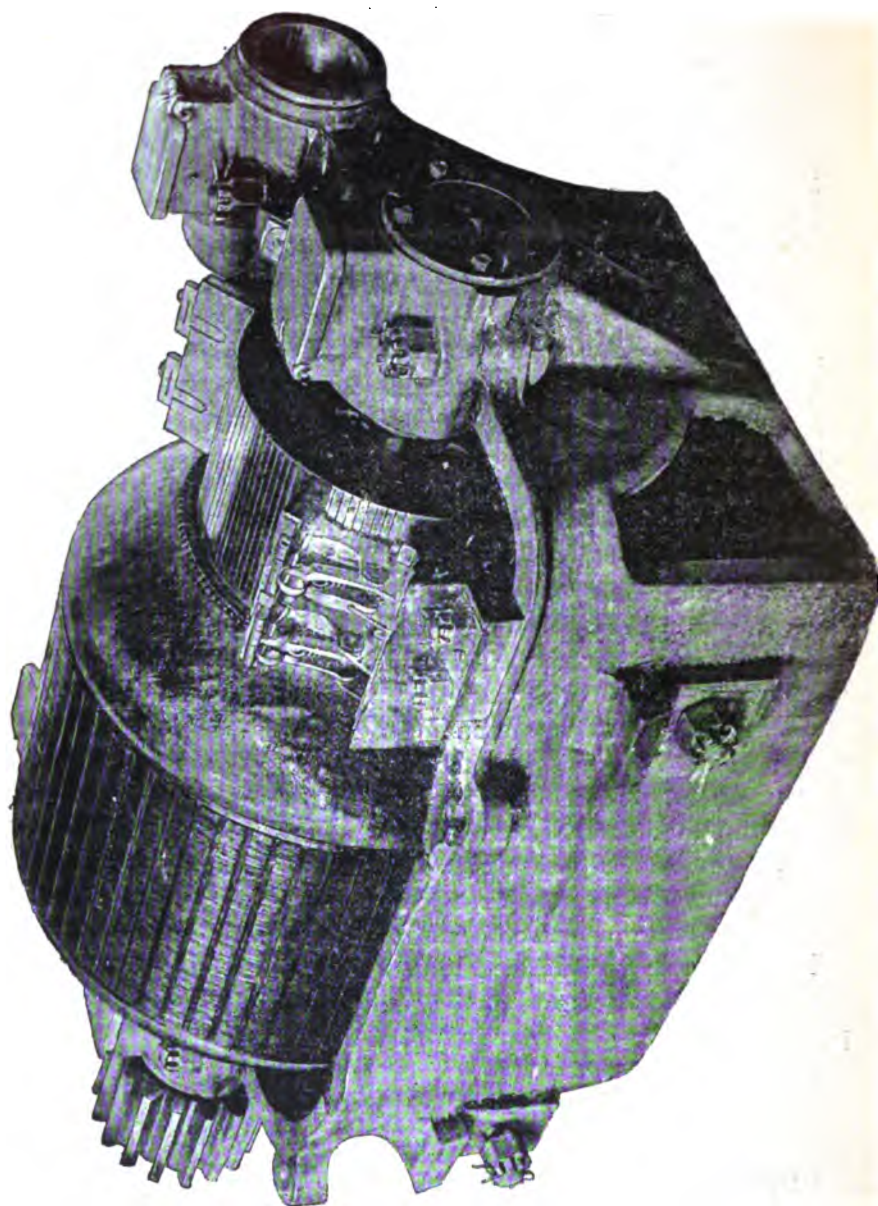


Fig. 227. — Moteur Thomson-Houston de 100 kilowatts, la carcasse supérieure étant enlevée (locomotive de 40 tonnes).

trique, par la Compagnie Westinghouse et pour la partie mécanique par les ateliers Baldwin, de Philadelphie, en 1894.

Cette locomotive peut développer au démarrage un effort de traction de 13.600 kilogrammes, répartis sur quatre moteurs.

En marche normale, sa vitesse est de 56 kilomètres à l'heure avec des roues de $1^{m},40$ de diamètre et faisant 225 tours à la minute. A cette vitesse, la puissance absorbée par chaque moteur est de 250 chevaux sous 800 volts, soit 250 ampères.

Les moteurs sont à quatre pôles, avec deux inducteurs à enroulement compound : l'enroulement en dérivation est calculé de telle façon qu'il empêche une augmentation exagérée de vitesse, lorsque la charge à remorquer est faible.

Les induits sont calés *directement* sur les essieux. Le diamètre de l'induit est de 775 millimètres, et sa longueur utile de 525. Le châsis est en acier. Le poids total de cette locomotive est de 55,5 tonnes.

Pour démarrer, les quatre moteurs sont montés en série entre eux avec une résistance variable intercalée. Quand la vitesse augmente, on les couple en deux groupes de deux moteurs en série, réunis en dérivation; enfin, les quatre moteurs sont placés en dérivation. Cette manœuvre exige un commutateur très important dont la manœuvre est faite à volonté à la main ou à l'air comprimé ; il existe sur cet appareil un enclenchement spécial pour le changement de marche, qui ne peut être fait qu'après avoir coupé d'abord le courant.

Nous ne connaissons pas le résultat des essais faits sur cette locomotive qui a été construite spécialement pour la manœuvre et le garage de trains de marchandises à fort tonnage et faible vitesse, ce qui explique l'effort de traction important mentionné plus haut.

Les deux Compagnies Baldwin et Westinghouse viennent de terminer une autre locomotive, étudiée par les mêmes ingénieurs. Cette locomotive est destinée à faire le trans-

port des voyageurs sur la North-American C°; elle est à quatre essieux moteurs qui supportent le truck : les roues ont 1m,05 de diamètre, les moteurs électriques ont une puissance de 200 chevaux chacun. Cette locomotive a une longueur totale de 11m,4, et sa largeur est de 2m,70. En ordre de marche, son poids total est de 72 tonnes. Elle est munie de freins à air, dont la pompe est commandée électriquement.

Le prix de cette locomotive est de 85.000 francs.

Locomotive électrique système Westinghouse. — Cette Compagnie a appliqué son système de distribution électro-magnétique aux locomotives électriques. Elle a construit une locomotive de 400 chevaux (*fig.* 228) qui fonctionne d'après le même principe que nous avons exposé plus haut, pour les tramways.

Cette locomotive a la forme d'une voiture ordinaire; elle est montée sur deux trucks à boggie, dont chaque essieu est moteur et porte un moteur de 100 chevaux (*fig.* 229).

Les roues motrices ont 1m,07 de diamètre. La longueur de la locomotive est de 11m,60, et sa largeur de 2m,75.

Les barres de contact sont disposées comme l'indique la figure 229 : dans les tramways, jusqu'à la vitesse de 30 kilomètres à l'heure, le bruit résultant du choc de ces barres contre les boutons métalliques est peu appréciable. Dans l'application à la locomotive électrique de 400 chevaux, on a pu augmenter la vitesse, sans qu'il en résulte la moindre difficulté pour la prise de courant, qui se fait très correctement; les commutateurs électro-magnétiques fonctionnent très régulièrement aux vitesses admises sur la locomotive électrique.

Il semble résulter de ces essais qu'il y a là une voie nouvelle pour l'application de la traction électrique aux chemins de fer à grande vitesse.

Locomotive électrique système J.-J. Heilmann. — Comme nous l'avons vu, il est difficile actuellement d'appliquer la traction électrique par fil conducteur aux

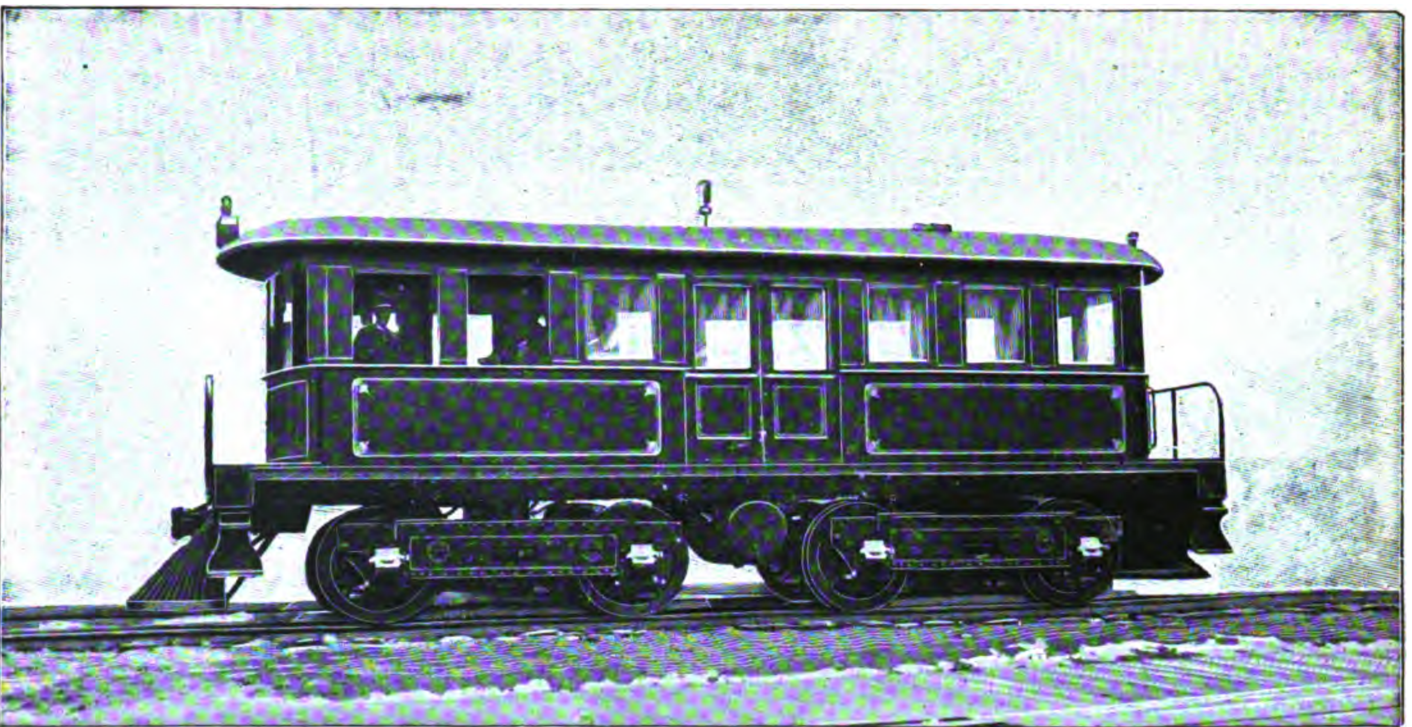


Fig. 228. — Ensemble de la locomotive électrique de 400 chevaux, système Westinghouse.

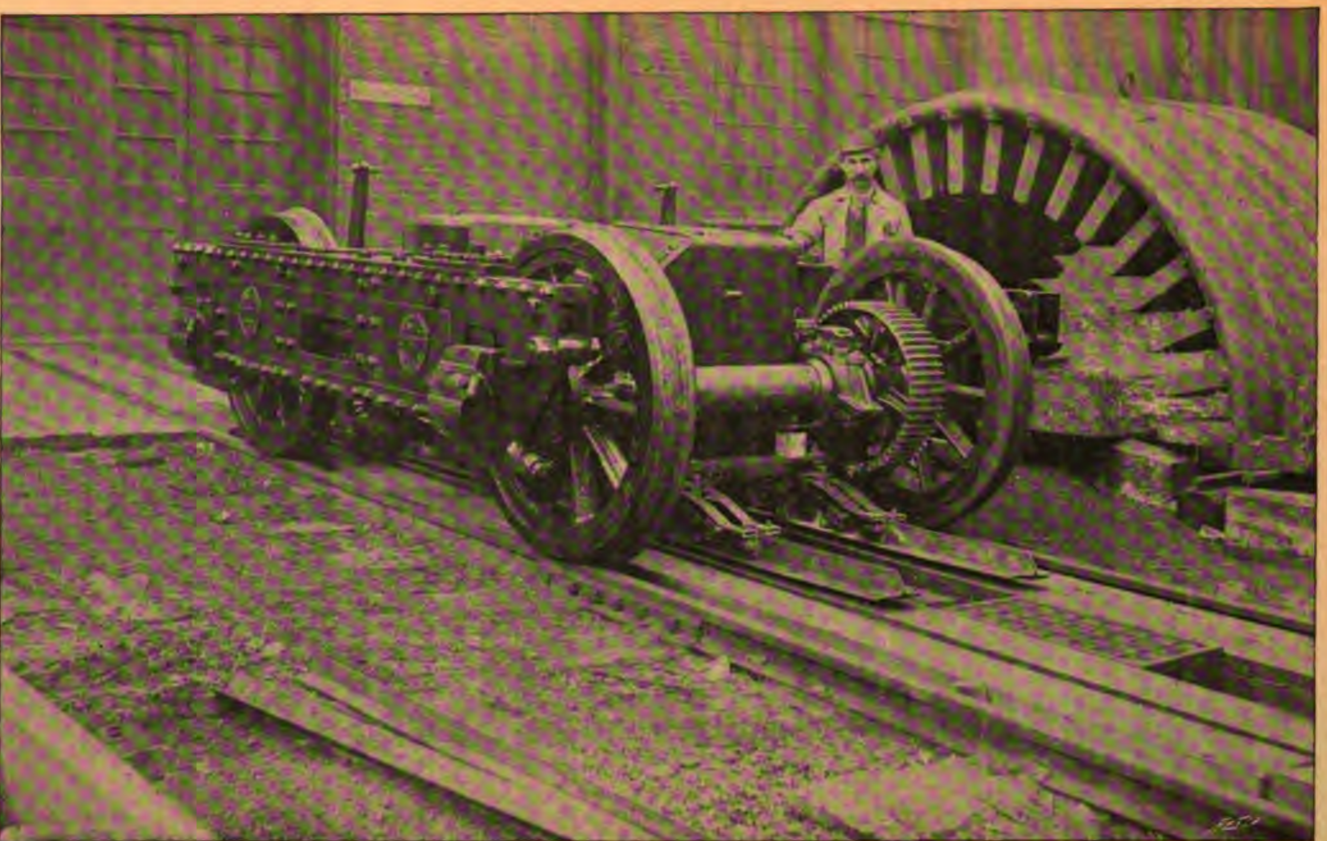


Fig. 229. — Vue d'ensemble d'un des trucks moteurs et de la prise de courant de la locomotive électrique Westinghouse.

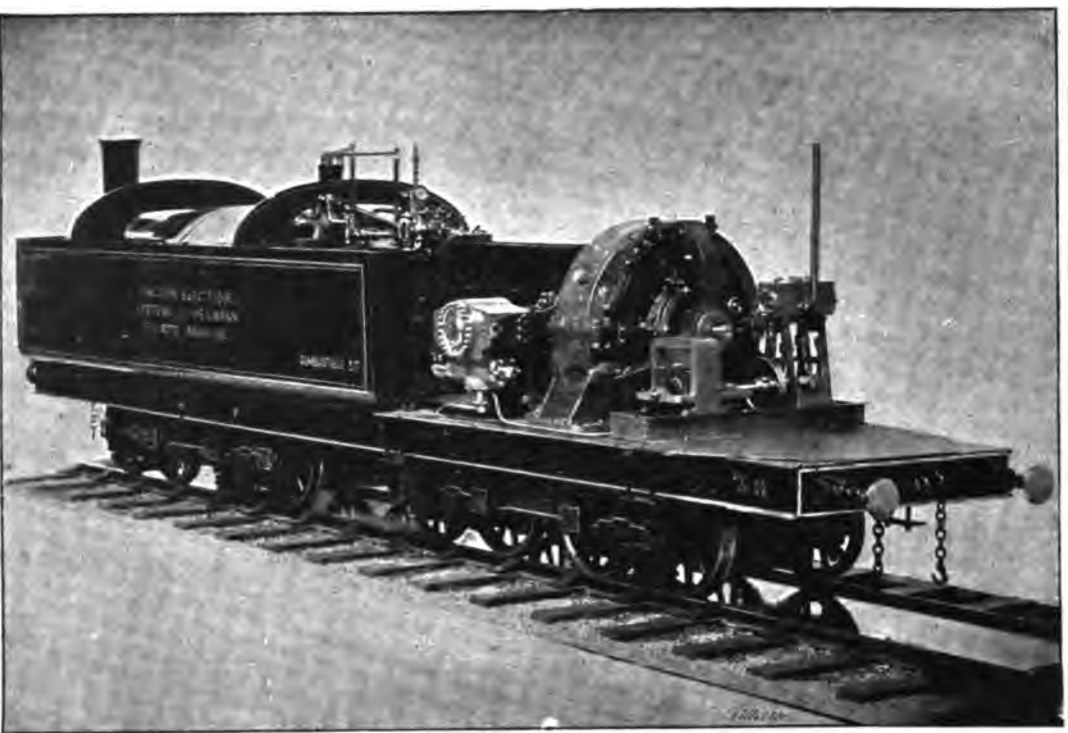


Fig. 230. — La « Fuséeélectrique » : locomotive d'essai, système J.-J. Heilmann
(L'abri est enlevé pour laisser voir la machinerie).

réseaux importants, par suite de plusieurs difficultés, dont la principale serait les dépenses énormes qu'entraînerait cette transformation. Le principe de la locomotive *automotrice* doit donc subsister. C'est pourquoi la locomotive électrique mixte, système J.-J. Heilmann prend actuellement un si grand intérêt.

Nous en donnerons une description générale, et nous examinerons les résultats obtenus.

La première locomotive de ce genre, qui fut construite sur les dessins de M. Heilmann, s'appela *la Fusée électrique* (*fig.* 230). C'était une machine d'expérience destinée à démontrer que les idées émises par l'inventeur étaient pratiquement réalisables.

Après des essais, qui réussirent complètement et que nous examinerons, deux nouvelles machines de grande puissance furent mises en construction : ce sont les locomotives N° 2.

C'est de ce dernier modèle que nous donnerons la description (*fig.* 231 et 232).

Le principe appliqué à cette locomotive est celui-ci : produire mécaniquement, sur la locomotive, de l'énergie électrique, qui est envoyée à des moteurs commandant les essieux. Il est réalisé de la façon suivante : sur un châssis est placée une chaudière à grande capacité, qui alimente une machine à vapeur, commandant directement deux génératrices calées sur l'arbre moteur. L'énergie électrique ainsi produite est envoyée, par l'intermédiaire des appareils de commande, de mesure et de sécurité, aux moteurs électriques qui entraînent les essieux moteurs.

Examinons chaque organe en particulier.

Châssis. — Le châssis est composé de deux longerons en acier : il mesure $17^{m},70$ de longueur. Ces longerons sont assemblés par des entretoises qui servent à supporter également les divers organes. Deux traverses-pivots reçoivent l'axe sur lequel sont les boggies.

Chaudière. — Elle est du type agrandi des chaudières ordi-

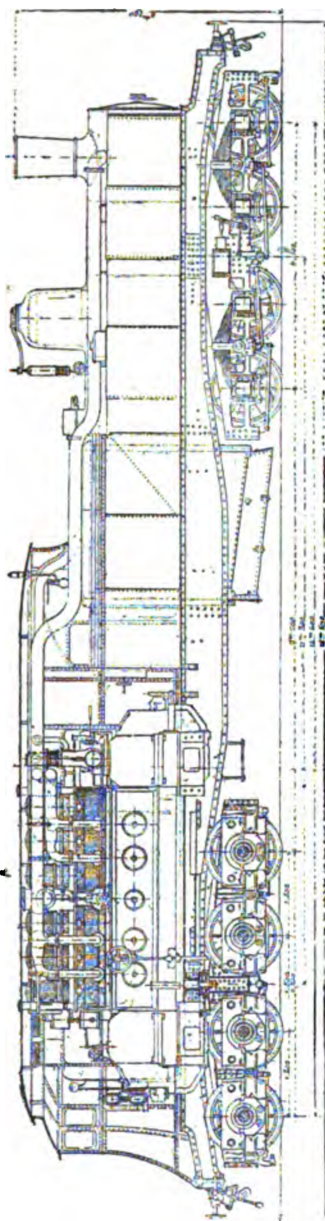


Fig. 231. — Locomotive électrique N° 2, système J.-J. Heilmann : Coupe longitudinale.

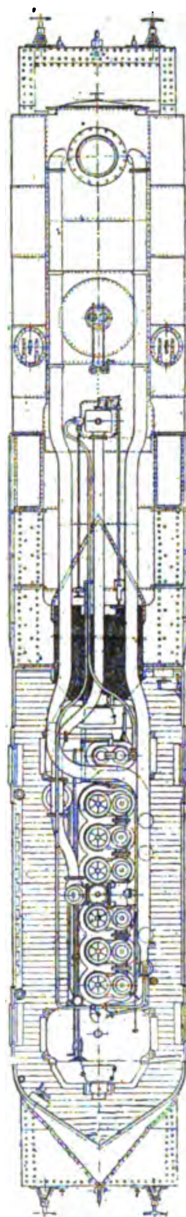


Fig. 232. — Locomotive électrique N° 2, système J.-J. Heilmann : Vue en plan.

naires de locomotives. Elle est en fer; ses constantes sont les suivantes :

Surface de grille, en mètres carrés	3,94
— de chauffe du foyer	16,47
— — des tubes	169
— — intérieure totale	185,47
Nombre de tubes	351
Diamètre extérieur des tubes, en mètres	0,045
Longueur des tubes entre plaques, en mètres	3,80
Timbre, en kilogrammes	14

Les soutes à eau et à charbon sont placées de chaque côté de la chaudière.

Machine à vapeur. — C'est une machine verticale, *complètement* équilibrée.

L'équilibrage est en effet un point capital pour éviter les efforts d'inertie qui atteignent leur maximum dans la direction de l'élasticité du châssis, dans le cas d'une machine verticale ; cet effort maximum n'est que 0;00025 de la force d'inertie d'une seule ligne de cylindre. Cette machine a été étudiée et construite par MM. Willans et Robinson (*fig.* 233 à 235). Elle est à six lignes de cylindres.

Les constantes sont :

Vitesse normale en tours, par minute	400
Course commune, en millimètres	400
Diamètre des cylindres à haute pression, en millimèt.	300
— — basse — —	480

Dynamos génératrices. — Elles sont à 6 pôles avec inducteurs en acier. A pleine puissance, elles peuvent donner *chacune* 1.000 ampères sous 455 volts, et supporter pendant un instant le double de cette intensité. Elles sont placées à chaque extrémité de l'arbre.

Le diamètre de l'induit est de $1^m,05$. Ces machines sont couplées en parallèle.

Elles ont été étudiées par la Société de Traction électrique,

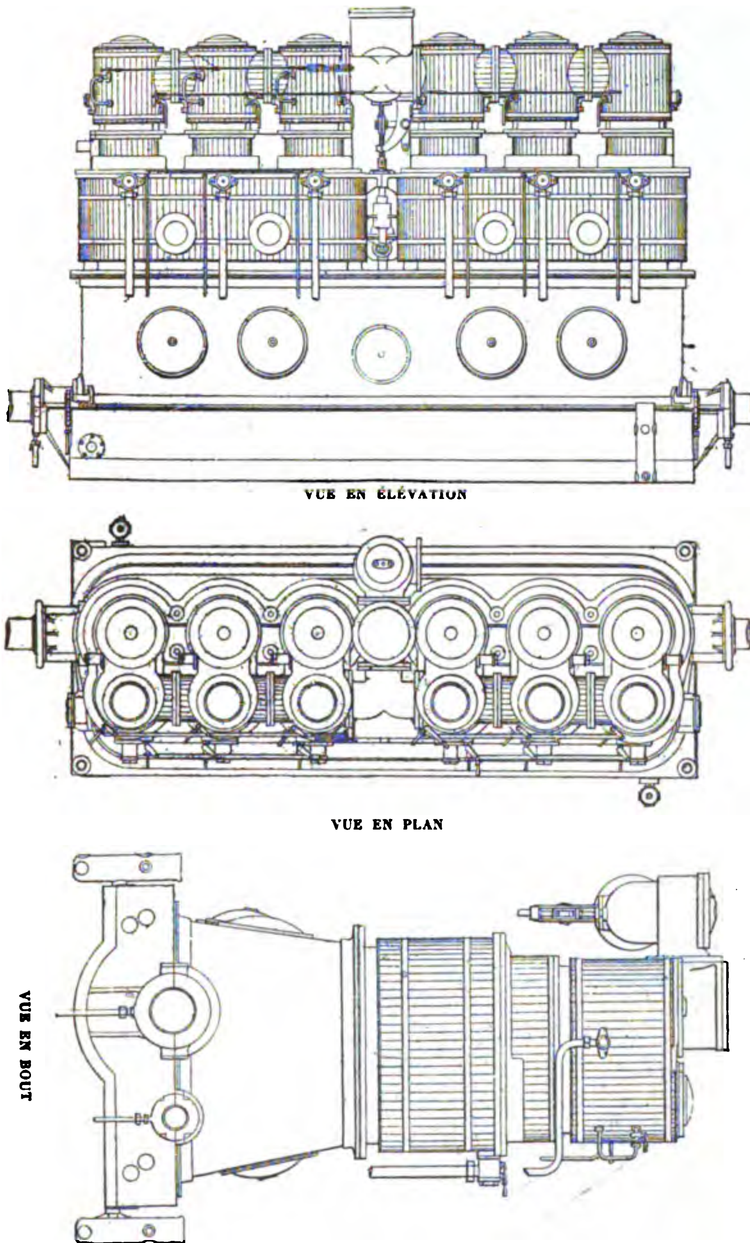
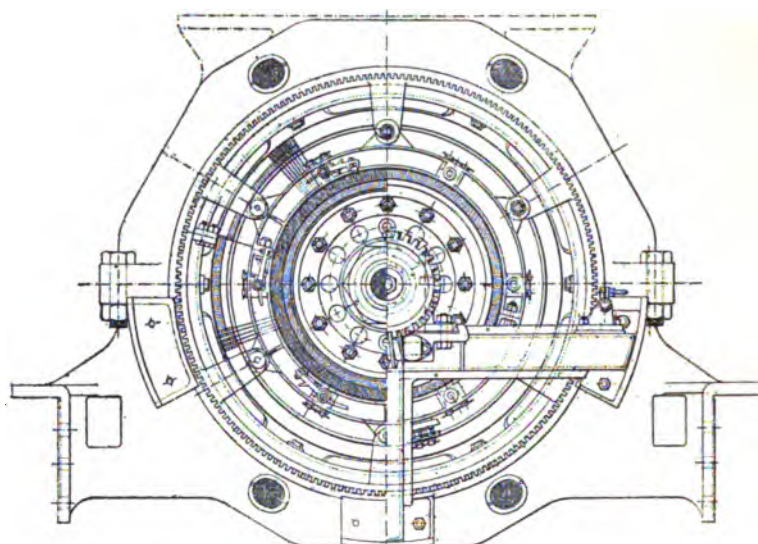
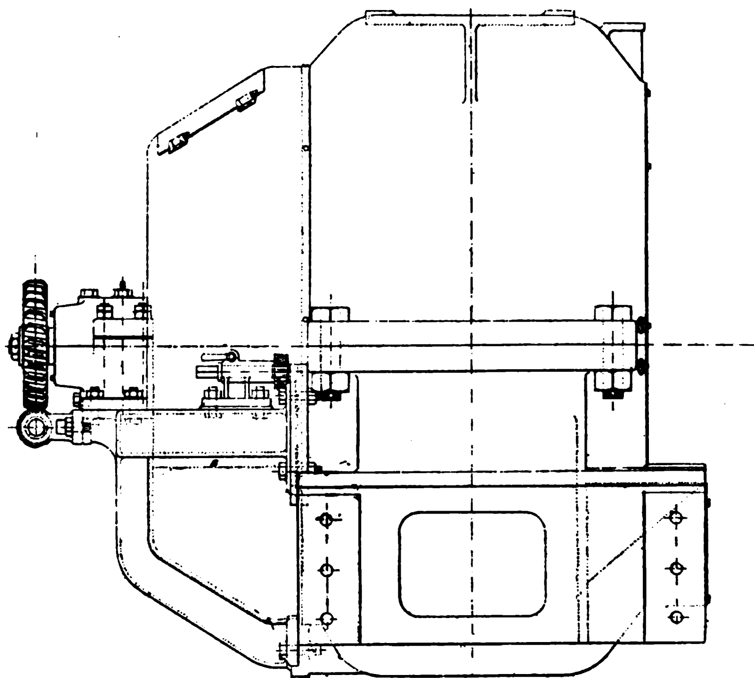


Fig. 233 à 235. — Vue d'ensemble de la machine à vapeur équilibrée, à six lignes de cylindre.



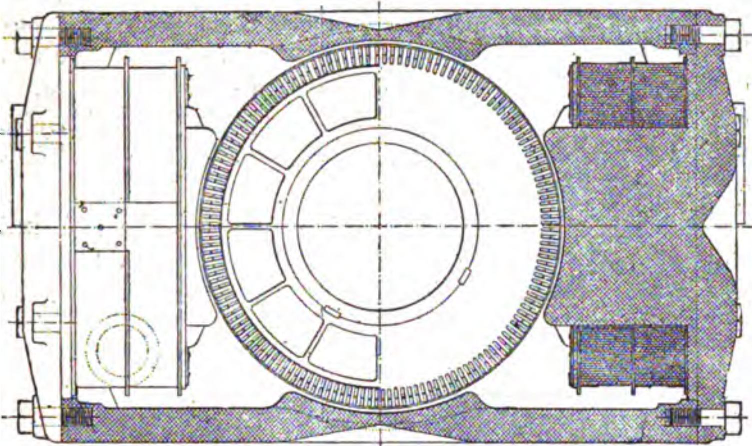
VUE EN ÉLÉVATION



VUE EN BOUT

FIG. 236-237. — Dynamo génératrice.

et construites par MM. Brown, Boveri et C° (Baden) (*fig.* 236 et 237).



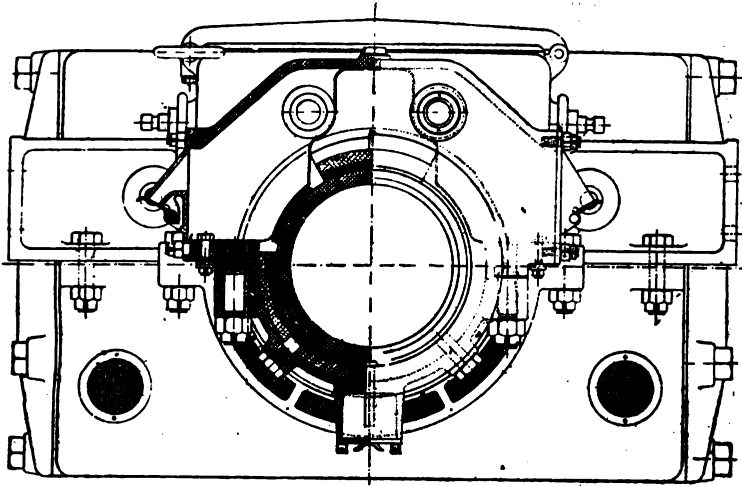


Fig. 238-239. — Dynamo excitatrice.

Machine excitatrice. — L'excitation des dynamos génératrices est faite séparément : ce qui facilite beaucoup la conduite de l'ensemble, et ce qui augmente la sensibilité et la souplesse du système.

Cette excitation est faite au moyen d'une petite machine à vapeur Willans à simple expansion, sur l'arbre de laquelle est calée une génératrice électrique pouvant donner 140 ampères sous 175 volts (*fig.* 238 et 239) : cet ensemble est fixé sur l'une des grandes génératrices électriques. On peut dire que ces deux machines constituent le cerveau de la machine, et c'est en augmentant ou en diminuant l'excitation qu'on fera varier, dans le même sens, la puissance des génératrices électriques principales.

Moteurs électriques. — Ils sont à 4 pôles (*fig.* 240) ; l'induit est calé sur un tube dans lequel pénètre l'essieu. L'entraînement se fait au moyen d'un plateau calé sur le tube et portant

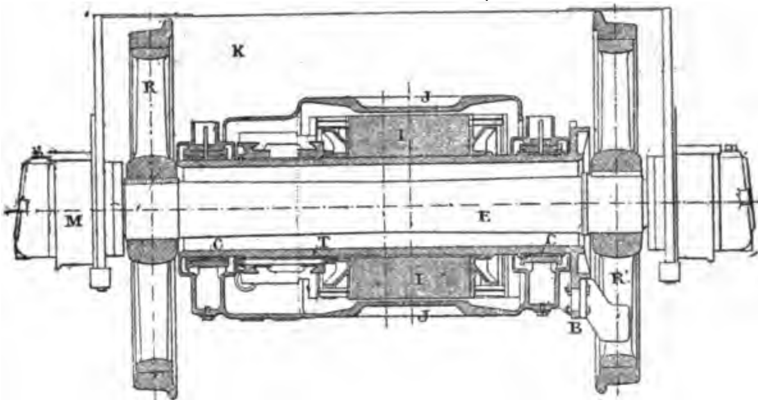


Fig. 240. — Coupe du moteur électrique.

des pattes qui viennent s'engager entre deux tampons à ressorts, placés sur les raies des roues (*fig.* 241).

La puissance normale de chaque moteur est de 120 chevaux à la vitesse de 100 kilomètres à l'heure, le diamètre des roues étant de 1^{m},16.

Les 8 essieux sont moteurs, de sorte qu'on peut disposer normalement de 1.000 chevaux sur les essieux. L'effort à la jante, pour chaque moteur, est de 340 kilogrammes, soit 2.720 kilogrammes pour l'ensemble des 8 essieux.

Ces moteurs sont montés par groupe de 4 sur un boggie.

Chaque moteur est commandé directement du tableau de distribution, placé à l'avant de la machine, dans une cage-abri. Un appareil de manœuvre permet de coupler les moteurs de façon convenable, pour les diverses phases de la

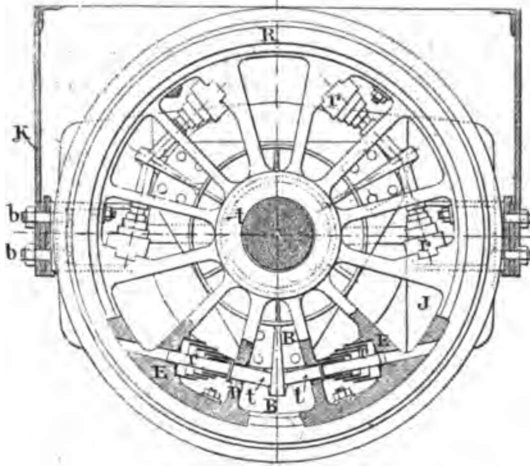


FIG. 241. — Entraînement des roues motrices.

marche : démarrage, petite vitesse, augmentation de vitesse, diminution de vitesse, arrêt.

Rendement. — Ces nouvelles machines, actuellement presque terminées dans les ateliers Cail, n'ont pas encore été essayées. Quelques considérations générales, indiquées par M. Drouin [1], peuvent donner cependant le rendement de ces machines, d'après les résultats obtenus précédemment avec *la Fusée électrique*.

La puissance indiquée aux cylindres de la machine à vapeur est de 1.350 chevaux-vapeur. Son rendement est de 90 pour cent.

Le rendement des génératrices électriques est de 95 pour cent, et celui des moteurs de 90 pour cent. Les connexions et câbles peuvent faire perdre 2 pour cent.

[1] Conférence à la Société des Ingénieurs civils de France, 1896.

Le rendement total sera alors :

$$0,90 \times 0,75 \times 0,98 \times 0,90 = 0,754,$$

soit:

$$1.350 \times 0,754 = 1.008 \text{ chevaux, soit } 1.000 \text{ chevaux.}$$

On peut chercher maintenant quel est le rendement de la locomotive en évaluant la puissance qu'elle absorbe pour se déplacer elle-même. On aura ainsi, en retranchant cette puissance de la précédente, l'effort *disponible* au crochet d'attelage de la locomotive.

Le poids moyen en ordre de marche sera de 115 tonnes. La provision nécessaire d'eau de 20 tonnes sera portée par un véhicule pesant 10 tonnes ; soit, en moyenne, un supplément de poids de 17 tonnes.

En palier, à 100 kilomètres à l'heure, l'effort aux jantes sera, comme on l'a vu plus haut, de 2.700 kilogrammes en chiffres ronds. L'effort de traction, par tonne, étant de 7 kilogrammes, l'effort total nécessaire, pour la machine, sera:

$$(115 + 17) \times 7 = 924 \text{ kilogrammes.}$$

L'effort utilisable au crochet d'attelage sera la différence:

$$2.700 - 924 = 1.776 \text{ kilogrammes.}$$

Si l'on suppose que cette locomotive remorque des wagons ordinaires, qui demandent un effort de traction par tonne de 7 kilogrammes, on remorquera :

$$\frac{1.776}{7} = 253 \text{ tonnes.}$$

Si l'on a des wagons à boggie, qui ne demandent qu'un effort de 5 kilogrammes par tonne, on remorquera:

$$\frac{1.776}{5} = 355 \text{ tonnes.}$$

Si l'on cherche combien de chevaux à vapeur représente cet effort de 1.776 kilogrammes, on a :

$$\frac{1.776 \times 100}{270} = 657 \text{ chevaux-vapeur.}$$

Soit, un rendement total de :

$$\frac{\text{Puissance utile}}{\text{Puissance dépensée}} = \frac{657}{1.350} = 0{,}47.$$

On voit que ce rendement élevé permettra, comme l'indiquent les chiffres des poids remorqués, donnés plus haut, de faire mieux avec cette locomotive qu'avec les locomotives à vapeur actuelles et qu'elle réalise un progrès sensible à plusieurs points de vue : augmentation de puissance, conduite plus facile, soulagement des voies et effets perturbateurs diminués, comme nous le verrons plus loin.

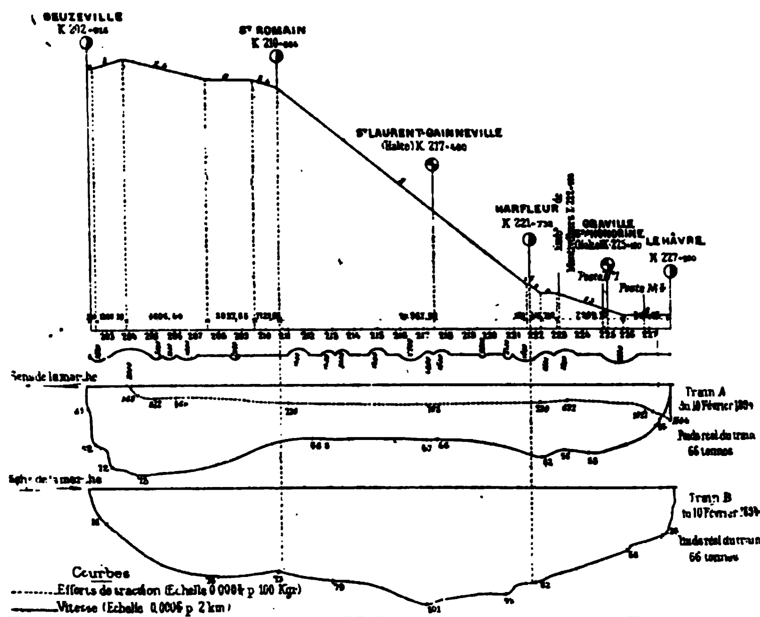


Fig. 242. — Profil en long de la ligne du Havre à Beuzeville. Diagrammes des essais de la *Fusée électrique* sur cette ligne.

Essais pratiques. — Des essais pratiques furent faits par les soins de la Compagnie de l'Ouest, en 1894, avec la pre-

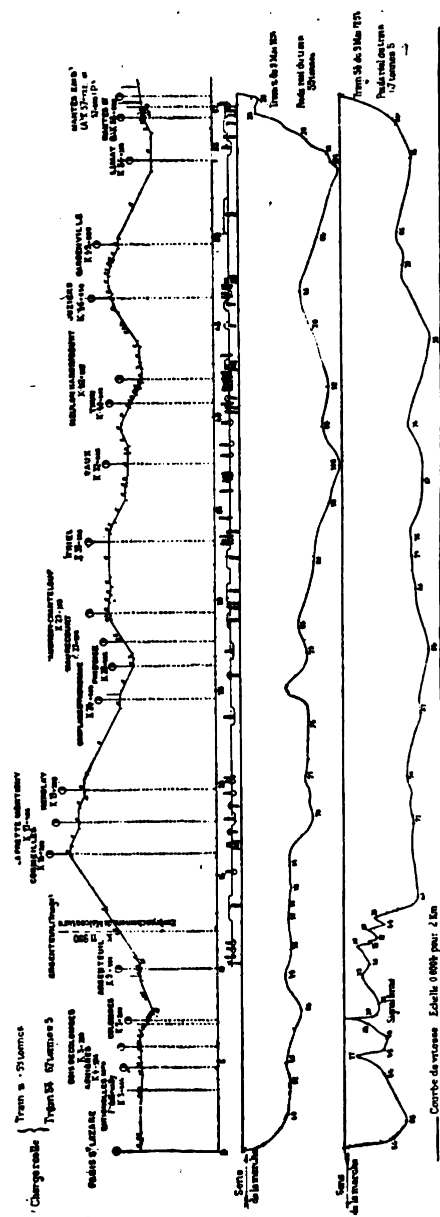


Fig. 243. — Profil en long de la ligne Paris-Mantes. — Diagrammes des essais de marche de la *Fusée électrique* sur cette ligne.

mière locomotive *la Fusée*, entre Le Havre et Beuzeville (*fig.* 242) et entre Paris et Mantes (*fig.* 243). Il résulte de ces essais que le rendement des divers organes a été, à charge moyenne :

1° Pour le groupe principal (machine à vapeur et génératrice électrique) 0,75
2° Moteurs électriques 0,90

Le rendement total, entre le travail indiqué aux cylindres

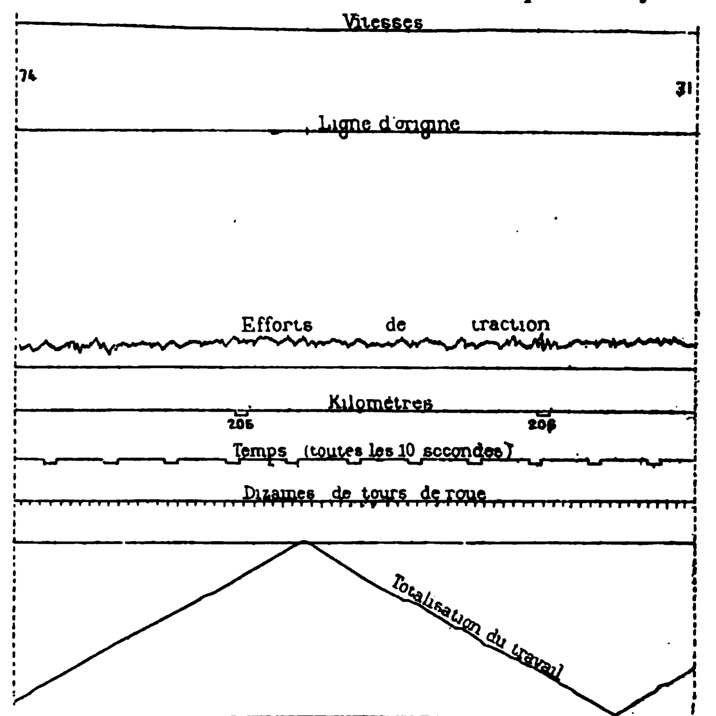


Fig. 244. — Marche sur le profil du Havre à Beuzeville avec la locomotive la *Fusée électrique*.

de la machine à vapeur et le travail à la jante des roues, a été de 0,675.

Dans ces conditions, la dépense moyenne de vapeur par cheval indiqué a été de 10kg,5.

Dans les essais de Paris à Mantes, par Argenteuil (*fig.* 243),

qui ont été faits pendant une période assez longue, la locomotive remorquait soit des trains spéciaux, soit des trains de service; la vitesse maxima constatée a été de 108 kilomètres à l'heure, avec une vitesse moyenne de 76^{km},5 à l'heure et une charge remorquée de 70 tonnes.

Les figures 242 à 245 donnent les diagrammes corres-

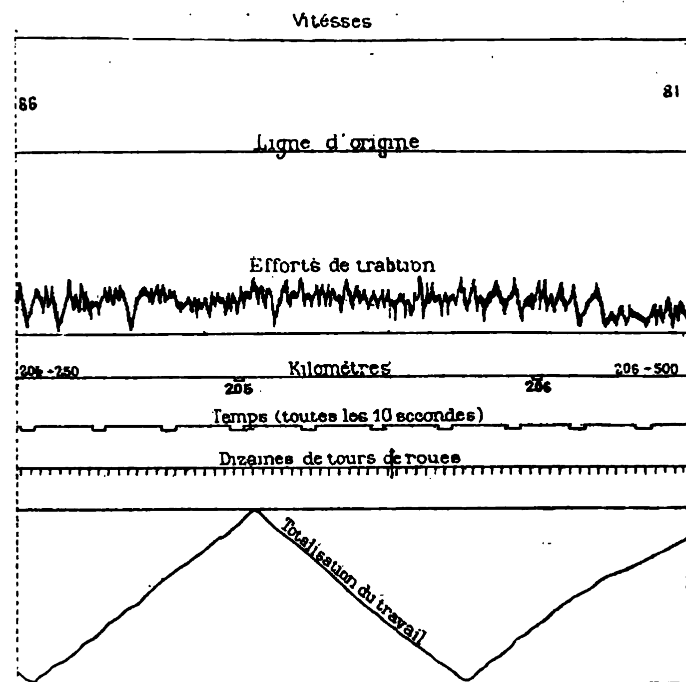


Fig. 245. — Marche avec la locomotive à vapeur n° 957 de la Compagnie de l'Ouest sur le même profil.

pondants qui ont été relevés au wagon dynamométrique de la Compagnie de l'Ouest.

La Compagnie des chemins de fer de l'Ouest, à la suite de ces essais, a fait un rapport rédigé par M. Mazen, inspecteur de la traction, et nous ne saurions mieux faire, pour donner l'opinion des intéressés, que de reproduire les conclusions de ce rapport.

« Dans tous ces essais, la locomotive s'est bien comportée,

le service a été assuré sans aucune avarie, et, pendant un parcours total de plus de 1.900 kilomètres, on n'a jamais eu besoin de la machine de secours.

« Tous les trains ont été remorqués dans de bonnes conditions, et aucun retard n'a eu lieu du fait de la locomotive.

« *La Fusée* présente à toutes les vitesses une stabilité satisfaisante et comparable à celle d'une voiture à boggies; la suspension est douce, et pendant les divers parcours on a constaté qu'il ne se produisait aucun mouvement, soit de lacet, soit de galop ; les entrées en courbe se font facilement, et jusqu'à la vitesse de 108 kilomètres, qui a été atteinte à diverses reprises pendant les essais, les seules oscillations remarquées proviennent exclusivement des légères dénivellations de la voie.

« Cette douceur de marche est due principalement à la constance de l'effort aux jantes pendant un tour complet, ce qui donne un effort de traction constant et, par suite, une traction plus douce qu'avec les machines ordinaires.

« En outre, par suite de l'adhérence totale, le patinage est complètement évité. Enfin, pour ce qui est de la dépense de combustible, sans vouloir dès à présent porter un jugement, eu égard à la durée relativement courte des essais, nous croyons devoir faire remarquer que, malgré l'inexpérience du personnel dans la conduite de la machine, la dépense n'a été que de $5^{kg},630$ par kilomètre, en moyenne (entre Paris et Mantes).

« Nous devons dire, du reste, que, depuis le premier jour des essais jusqu'au dernier, la consommation de combustible de la locomotive Heilmann a toujours été en décroissant : de $6^{kg},900$ par kilomètre qu'elle était au commencement des essais, elle est tombée à $3^{kg},730$ par kilomètre.

« Voici, du reste, deux tableaux qui résument les consommations dans les principaux essais.

ESSAIS ENTRE LE HAVRE ET BEUZEVILLE

DATES	TRAINS	POIDS du TRAIN en tonnes	POIDS DU TRAIN avec la LOCOMOTIVE en tonnes	CHARBON DÉPENSÉ au TOTAL en kilog.	CHARBON DÉPENSÉ par KILOMÈTRE en kilog.	PAR TONNE kilométrique y compris LA MACHINE en gramm.	PAR TONNE kilométrique de train remorqué en gramm.
27 janvier 1894	A	61	175	300	11,5	65,9	189
	B	»	»	120	4,6	26,3	75
	C	»	»	290	11,2	63,6	183
	D	»	»	160	6,2	35,1	100
2 février 1894	A	65	179	256	9,8	55,0	151
	B	»	»	80	3,1	17,1	47
	C	»	»	300	11,5	64,4	178
	D	»	»	80	3,1	17,1	47
3 février 1894	A	65	179	240	9,2	51,5	142
	B	»	»	80	3,1	17,1	47
	C	»	»	280	10,8	60,1	165
	D	»	»	90	3,5	19,3	53
9 février 1894	A	65	179	216	8,3	46,4	128
	B	»	»	80	3,1	17,1	47
	C	»	»	240	9,2	51,5	142
	D	»	»	100	3,8	21,4	50
10 février 1894	A	66	180	264	10,2	56,4	154
	B	»	»	80	31,1	17,0	45
	C	»	»	290	11,2	61,9	169
	D	»	»	80	3,1	17,0	45
Totaux				3 626	139,7	781,3	2 166
Moyenne des trains montants (B et D).				95	3,6	20,4	56
Moyenne des trains descendants (A et C).				267	10,3	57,6	160
Moyenne générale				181	6,9	39	108

ESSAIS DE PARIS A MANTES PAR ARGENTEUIL

DATES	TRAINS	POIDS du TRAIN en tonnes	POIDS DU TRAIN avec la LOCOMOTIVE en tonnes	CHARBON DÉPENSÉ AU TOTAL en kilog.	CHARBON DÉPENSÉ par KILOMÈTRE en kilog.	PAR TONNE kilométrique y compris LA MACHINE en gram.	PAR TONNE kilométrique de train remorqué en gram.
4 mai 1894	U	61	175	400	6,9	39,40	113
	V	61	175	390	6,7	38,42	110
5 mai 1894	X	61	175	350	6	34,48	99
	Y	61	175	276	4,7	27,18	78
8 mai 1894	54	69	183	220	3,8	20,72	55
Moyenne.............				327,2	5,62	32,04	91

« Cette faible dépense de combustible dépend de bien des éléments.

« Tout d'abord, il faut remarquer la grande puissance de la chaudière de la locomotive électrique d'essai, qui n'a jamais eu besoin d'être poussée pour fournir la vapeur nécessaire, ce qui fait que l'on s'est toujours trouvé dans de bonnes conditions au point de vue économique. D'un autre côté, si le poids considérable de la locomotive électrique est une gêne dans les fortes rampes, par contre sa faible résistance au roulement fait qu'en palier, à vitesse égale, elle absorbe souvent à grande vitesse, pour se traîner, moins de puissance que les locomotives à vapeur, et qu'elle peut, en outre, descendre à grande vitesse des pentes, même très peu accentuées, sans consommation de vapeur, alors que les locomotives ordinaires sont obligées, dans les mêmes conditions, d'en consommer. »

Disons, pour terminer, que, dans ces essais, on a démontré que cette locomotive pouvait démarrer facilement des trains lourds : c'est ainsi qu'au Havre elle a démarré un train de 420 tonnes en courbes et contre-courbes sur une rampe de 1 à 2 millimètres : elle a conduit ce train à la vitesse de 20 kilomètres à l'heure du Havre à Graville (2.800 mètres).

Car c'est là encore un avantage de ce système : le même type de locomotive peut remorquer, dans de bonnes conditions de marche, des trains légers à grande vitesse et des trains lourds à vitesse moyenne.

Les essais pratiques des deux locomotives plus puissantes, actuellement terminées, permettront de mettre complètement en valeur les qualités réelles de *la Fusée Electrique*, qui a été la première locomotive électrique pratiquement utilisable qui ait roulé sur un réseau français, comme *la Fusée* de Stephenson a été la première locomotive à vapeur qui ait roulé pratiquement ; et souhaitons que le nouveau principe, très rationnel, émis par M. J.-J. Heilmann et appliqué aux locomotives électriques, ait le même succès que celui émis par le célèbre inventeur de la locomotive à vapeur.

Différents projets de locomotives électriques. — Presque toutes les grandes Compagnies de chemins de fer français ont étudié une locomotive électrique, mais jusqu'à présent aucune réalisation vraiment pratique n'a été tentée : c'est ainsi que la Compagnie du Nord a étudié une locomotive à accumulateurs, qui, après quelques essais, n'a pas donné les résultats attendus et a été abandonnée.

La Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée a fait étudier par MM. Bonneau et Desroziers une locomotive alimentée également par des batteries d'accumulateurs, portées par plusieurs fourgons attelés derrière la locomotive, à la façon d'un tender.

Une locomotive d'essai fut construite et essayée, croyons-nous, mais les résultats n'ont pas été publiés.

La Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée fait des essais de traction par rail conducteur sur l'embranchement minier de Montmartre à La Béraudière, près de Saint-Etienne.

Les essais sont satisfaisants.

La même Compagnie a en projet de faire la traction électrique de la ligne du Fayet à la frontière suisse (38 kilomètres). Le système employé sera celui du rail conducteur. Cette Compagnie fait procéder actuellement à des essais

d'accumulateurs de traction, type Fulmen, qui seraient destinés à faire de la traction à grande vitesse : il suffirait de 35 tonnes d'accumulateurs pour faire 1.200 chevaux pendant une heure.

La Compagnie de l'Ouest a fait les essais relatés plus haut de la locomotive J.-J. Heilmann qui a donné des résultats encourageants. De nouveaux essais sont faits actuellement avec les 2 machines dont nous avons donné la description.

La même Compagnie fait actuellement procéder, par les soins de la Société industrielle des Moteurs électriques et à vapeur, à l'installation de la traction électrique sur la petite ligne de Saint-Germain-Ville à Saint-Germain-Ceinture (1.600 mètres). Le système employé est celui du rail conducteur, placé dans l'axe de la voie.

Soulagement de la voie de roulement avec les locomotives électriques. — Puisque les locomotives électriques suppriment, par leur principe même, les mouvements perturbateurs les plus importants, il est naturel de penser que le passage des locomotives électriques sur la voie, par rapport aux autres locomotives, ne fatigue pas cette voie de la même façon.

En effet, les mouvements de lacet étant fortement diminués dans le cas d'une rame de voitures, remorquées par une locomotive électrique, la désarticulation de la voie est diminuée dans la même proportion.

Enfin, la suppression des contrepoids aux roues motrices et la constance de l'effort sur les essieux moteurs et, par conséquent, aux jantes des roues, font que les rails ne sont plus martelés et que les dépressions, qui se produisent ordinairement aux joints des rails, seront supprimées. Cette dépression est surtout très accentuée au passage des masses de fonte qui équilibrent la roue et qui agissent à la façon d'un coup de bélier sur le rail.

Il existe bien peu d'essais pratiques sur ce sujet ; nous citerons cependant ceux qui ont été faits sur les voies du chemin de fer de l'Ouest, lors des premiers essais de la locomotive électrique système J.-J. Heilmann.

Les essais ont porté principalement sur la déformation des rails dans le sens vertical. Ces essais ont démontré que, à vitesse et à charge égales, par essieu, la locomotive électrique produit des flexions plus petites que les locomotives à vapeur. De plus, on a remarqué que les voies étaient bien moins fatiguées par la locomotive électrique que par les locomotives ordinaires à vapeur. Comme nous le

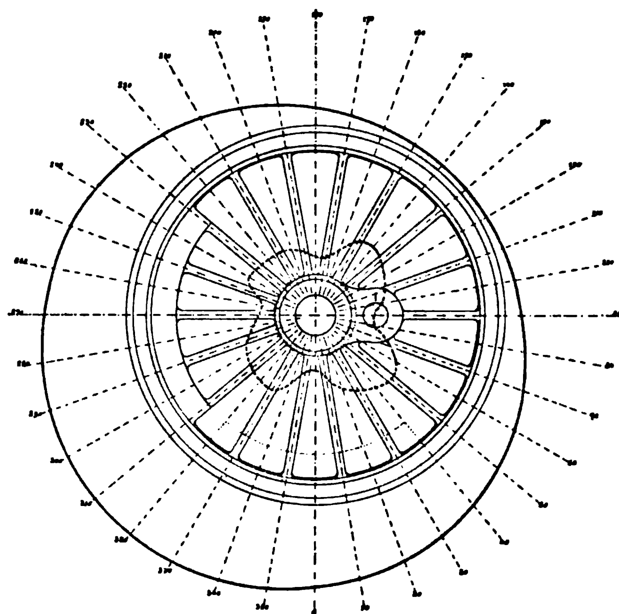


Fig. 246. — Diagramme des efforts variables sur le bouton de manivelle, dans une locomotive à vapeur ordinaire.

disions plus haut, ce résultat est évidemment produit par la suppression, dans la locomotive électrique, des surcharges souvent considérables dues au mouvement des masses incomplètement équilibrées. Enfin, les effets latéraux de désarticulation sont très faibles : ce qui est dû certainement à la suppression des bielles et pistons en mouvement et existant dans la locomotive à vapeur.

On comprendra toute l'importance de ces effets perturbateurs, inhérents à la locomotive à vapeur, et supprimés dans la locomotive électrique, en examinant le diagramme

de la figure 246, qui reproduit les expériences faites à ce sujet, en Amérique, par M. J.-N. Barr. Cet ingénieur a démontré que le rapport de la force motrice à la pression sur les rails variait suffisamment pendant la durée d'un tour de roue pour déterminer sur cette roue des plats à l'endroit où la tendance au glissement est la plus grande.

Dans le diagramme, la ligne pleine représente le poids total sur le rail, et la ligne pointillée la force essentiellement variable agissant sur le bouton de manivelle aux mêmes moments.

Rien de semblable ne peut exister dans une locomotive électrique, puisque toutes les pièces que porte l'essieu moteur sont mathématiquement *équilibrées*.

Résultats pratiques obtenus avec les locomotives électriques. — Il est assez difficile de connaître les résultats exacts obtenus à l'étranger, par les locomotives électriques. Ceux que nous avons pu nous procurer ont été donnés au cours de cette étude. Ajoutons cependant que nous savons que les locomotives électriques employées sur la ligne d'embranchement de Nantasket à New-York et sur la ligne New-Haven Hartford-Railroad, ont permis d'atteindre, avec des trains légers, des vitesses de 115 kilomètres à l'heure : le succès des moteurs électriques a été *complet* dans ces essais. Aussi la Compagnie qui exploite ces lignes a-t-elle donné, dans son rapport à ce sujet, les conclusions suivantes:

« L'expérience a démontré que la puissance, produite par une usine centrale et transmise électriquement, peut être employée avec succès pour l'exploitation d'un chemin de fer. Les dépenses courantes pour le combustible indiquent que ce résultat peut être obtenu économiquement. La puissance ainsi transmise est susceptible d'une subdivision infinie et se prête très bien à l'utilisation pour les services fréquents.

« Le résultat commercial ne dépend que de la durée de l'agencement électrique. L'utilisation de la station centrale actuelle sera étendue, et il est probable que l'électricité sera

adoptée, sous peu, par la Compagnie sur d'autres points de son réseau. »

Le peu de renseignements qui existe actuellement sur l'emploi, dans la pratique, des locomotives électriques s'explique par ce fait que ceux qui en font l'expérience tiennent à conserver pour eux les résultats obtenus et de profiter ainsi du fruit de leur travail. De plus, comme ces questions sont nouvelles et présentent de grandes difficultés pour être complètement résolues, c'est avec une extrême prudence que les Compagnies ou les constructeurs font connaître des résultats, qui seront vivement discutés et trop souvent considérés comme exagérés par les personnes intéressées à agir ainsi. Quoi qu'il en soit, nous sommes persuadés qu'un avenir prochain nous permettra de voir le triomphe définitif de la traction électrique, appliquée aux locomotives, et cela en faisant les restrictions suivantes qui seront la conclusion de ce chapitre.

Si l'on considère la traction par locomotive, on peut distinguer deux catégories d'applications:

1° La traction sur les chemins de fer à réseau très important et à trafic très variable : c'est le cas des grandes Compagnies de chemins de fer des différents pays ; 2° la traction sur de petits réseaux de faible longueur, à trafic intense et constant : c'est le cas de certaines lignes spéciales : métropolitains, chemins de fer circulaires ; traction de marchandises : triage et garage.

C'est *uniquement* à cette dernière catégorie d'application, croyons-nous, que la traction par locomotive électrique *automobile* s'appliquera et prendra un essor considérable : en effet, dans ce cas, il n'existe aucune difficulté vraiment réelle.

Au contraire, pour ce qui concerne la première catégorie d'application, nous pensons qu'il existe actuellement des difficultés qui rendent l'emploi de ces locomotives électriques presque impossible. Ce serait d'abord la transformation totale des voies et du matériel ; d'où une dépense considérable dont nous avons donné, plus haut, une idée générale, et nul doute que les Compagnies exploitantes s'y refusent. Ensuite existent des difficultés d'un autre ordre d'idées, parmi les-

quelles nous citerons une des plus importantes et qui est d'ordre militaire : la mobilisation et le transport des convois seraient à la merci de quelques individus, bien déterminés, qui, en quelques heures, pourraient rendre impossible tout transport, en détruisant la ligne, les postes de transformation ou les stations centrales.

Nous croyons donc que pour l'exploitation de ces grandes lignes, il faut conserver à la locomotive, quel que soit son système, une *indépendance absolue*, c'est-à-dire qu'elle doit porter avec elle sa force motrice, en un mot elle doit être *automotrice*. Ce principe condamne les locomotives électriques à prise de courant pour ce genre d'application ; il met en valeur, au contraire, les locomotives électriques du genre mixte, système J.-J. Heilmann, qui participent de tous les avantages de la locomotive électrique proprement dite. La pratique peut seule dire, dans quelques dizaines d'années, si cette manière de voir était la bonne, à moins qu'un principe nouveau vienne remplacer le principe électrique actuel. Après avoir examiné la question des locomotives destinées aux grandes vitesses, il est naturel de dire quelques mots de ce qui a été tenté pour réaliser des chemins de fer à grande vitesse.

CHEMINS DE FER ÉLECTRIQUES A GRANDE VITESSE

Limite de vitesse. — La question des chemins de fer à grande vitesse préoccupe depuis longtemps ceux qui se sont fait une spécialité de ces questions. Au début, on pensa que la vitesse pourrait être augmentée à volonté, pour ainsi dire. En étudiant plus à fond la question, on s'aperçoit que ces vitesses seront limitées, quoique déjà beaucoup plus grandes que celles obtenues pratiquement aujourd'hui. La vitesse limite semble être de 200 kilomètres à l'heure et, si l'on voulait dépasser cette vitesse, il faudrait arriver à construire des voies *absolument spéciales*, sans aiguille, ni embranchement ; et, en pratique, sauf dans quelques cas particuliers, cela est impossible à réaliser.

La vitesse limite à employer est, en effet, donnée par diverses considérations, dont les principales sont : l'adhérence, le rayon des courbes, la conservation des voies et du matériel. Si, en effet, on cherche quelle est la vitesse de sécurité qu'il ne faut pas dépasser, pour franchir des courbes de rayon donné, l'on trouve les résultats suivants :

VITESSE DE SÉCURITÉ en kilomètres à l'heure —	RAYON DES COURBES en mètres —
114 kilomètres à l'heure	300 mètres
157 —	600 —
192 —	900 —
225 —	1.200 —
250 —	1.500 —
275 —	1.800 —
300 —	2.100 —
320 —	2.400 —

Pour établir ces chiffres, on a pris la moitié du chiffre donné par la formule connue, qui représenterait la force centrifuge capable de faire passer le véhicule par-dessus le rail extérieur; on a, de plus, négligé la surélévation du rail qui vient corriger ce chiffre et s'y ajouter pour augmenter la vitesse de sécurité.

Une autre considération, qui fait bien comprendre que la vitesse de 200 kilomètres ne peut pas être dépassée, est qu'en prenant un véhicule lancé à 250 kilomètres à l'heure avec des roues de $2^{m},50$ de diamètre, la vitesse circonférentielle est de 70 mètres à la seconde, et il serait difficile de trouver un métal, dont la résistance mécanique serait suffisante pour résister à la force centrifuge qui résulterait d'une masse lancée à cette vitesse.

Premiers projets. — L'un des premiers projets qui fut étudié pour réaliser ce problème des grandes vitesses fut conçu par M. Zipernowsky qui voulait relier Budapest à Vienne.

La distance de ces deux capitales est d'environ 250 kilomètres, et le trafic est suffisamment intense pour réclamer

une augmentation de vitesse. D'après le projet, on aurait établi une ligne *spéciale*, presque en ligne droite, à double voie normale, les deux voies étant séparées par une entre-voie de 10 mètres de largeur pour éviter les chocs d'air au croisement de deux voitures.

Les rails du type Vignole pèseraient 50 kilogrammes par mètre courant avec une hauteur de 180 millimètres; ils seraient posés sur des traverses métalliques, noyées dans une infrastructure bétonnée.

Afin de reculer la limite de sécurité, on avait adopté, pour les courbes existantes, un rayon de courbure de 3.000 mètres, et le rail extérieur était exhaussé de 148 millimètres; cela était obtenu en abaissant de la moitié le rail intérieur et en surélevant de la moitié de ce chiffre le rail extérieur.

La voiture automobile comportait 40 places assises: elle se terminait à l'avant par des formes paraboliques pour diminuer la résistance de l'air qui, à ces vitesses devient un facteur de résistance qu'il ne faut pas négliger: M. Zipernowsky l'avait évalué à 200 chevaux environ. La caisse de la voiture avait 2^m,20 de hauteur, 2^m,15 de largeur et 45 mètres de longueur.

Le truck qui la supportait était formé de 4 poutres, reliées par des treillis en fer, et il reposait à chaque extrémité sur un boggie, par l'intermédiaire de huit paires de ressorts : les moteurs, calés sur les essieux, étaient situés à chaque extrémité de la voiture et étaient séparés des voyageurs par des cloisons en tôle: les boggies avaient un jeu latéral de 6 millimètres; on pouvait ainsi franchir, en pleine vitesse, des courbes d'un rayon égal à 1.000 mètres.

Les roues étaient des disques pleins en acier, et le bandage était monté de façon à pouvoir être facilement remplacé ; elles étaient pourvues de deux boudins et avaient un jeu de 5 millimètres pour permettre l'allongement dû à l'échauffement des essieux et prévenir tout déraillement.

La charge, par essieu, était de 7.500 kilogrammes ; le nombre de tours des moteurs était de 600 par minute, et il y avait quatre essieux moteurs.

La prise de courant se faisait par un rail central, placé sur

l'infrastructure, alimenté par du courant continu transformé produit à la tension initiale de 10.000 volts; des stations secondaires transformatrices étaient échelonnées le long de la voie : elles servaient de maison aux gardes-barrières et signaleurs.

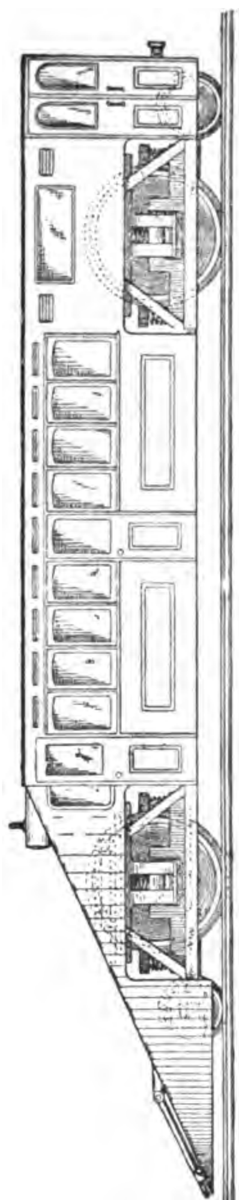


Fig. 247. — Projet de locomotive électrique de M. Adams.

Les voitures devaient partir toutes les dix minutes, de sorte que c'était, pour ainsi dire, un tramway à grande vitesse.

Ce projet très intéressant n'a pas été mis en exécution, par suite de raisons financières.

Les frais d'établissement auraient été de 130 millions environ, y compris les expropriations de terrains.

Projet de la ligne New-York-Chicago. — Dans le même ordre d'idées que précédemment, les Américains eurent le projet de réunir New-York à Chicago, dont la distance est de 1.600 kilomètres, et cela par des trains faisant 200 kilomètres à l'heure, soit ce trajet franchi en huit heures. Les principales données de ce projet, étudié par M. Wellington Adams (*fig.* 247), étaient les suivantes :

Distribution à 3.000 volts ; les stations transformatrices étaient échelonnées tous les 80 kilomètres et fournissaient le courant à 40 kilomètres de chaque côté de leur situation.

La perte admise était de 33 pour cent.

Dans ces conditions, les dépenses prévues par kilomètre étaient les suivantes :

Prix des conducteurs, y compris les supports...	22.750	francs
— de la station (génératrice et transformateurs)..	9.700	—
— de la voie double, dépôt compris...........	170.000	—
— du matériel roulant (train de 3 voitures), calculé sur 50 trains et machines....................	3.100	—
	205.550	—

Remarquons que cette dépense aurait été diminuée si l'on avait prévu une tension plus élevée, ce qui était plus naturel à notre sens.

La dépense totale pour les 1.600 kilomètres serait donc de :

$$1.600 \times 205.550 = 328.880.000 \text{ francs.}$$

Sur ces bases, il y aurait eu 20 trains par jour dans chaque sens :

Les stations auraient dû être capables de fournir 800 chevaux par train, soit un total de 16.000 chevaux installés ; la puissance fournie au total aurait été :

$$16.000 \times 8 = 128.000 \text{ chevaux-heures,}$$

pour un trajet complet dans un sens.

Dans ces conditions les frais d'exploitation auraient été les suivants :

Le prix du cheval-heure étant estimé à 0 fr. 045, on aurait eu une dépense de 288 francs comme force motrice par voyage.

Il aurait fallu 2 hommes pour le service du train et 1 en réserve, à 15 francs chaque, soit 45 francs de personnel par trajet.

L'intérêt du capital engagé pour un voyage aurait été de :

$$\frac{1.600 \times 205.550 \times 0,05}{365 \times 40} = 1.126 \text{ francs.}$$

L'entretien de la voie aurait été, par an, de 3.100 francs par kilomètre de voie double, soit par voyage :

$$\frac{3.100 \times 1.600}{365 \times 40} = 340 \text{ francs.}$$

Les dépenses générales d'exploitation auraient été par jour de 5.000 francs, soit par voyage :

$$\frac{5.000}{40} = 125 \text{ francs.}$$

Les dépenses diverses : usure, huile, divers, auraient été de 50 francs par voyage,

Soit, en résumé, par voyage :

Intérêt du capital engagé	1.126
Force motrice..................	288
Mécaniciens-électriciens........	45
Entretien de la voie	340
Dépenses générales d'exploitation	125
Usure, huile, divers, etc.........	50
	1.974 fr. par voyage de 1.600 kilom.

Soit par kilomètre :

$$\frac{1.974}{1.600} = 1 \text{ fr. } 23.$$

Tel est le chiffre total prévu comme dépenses d'exploitation par voyage. Ce chiffre est comparable à celui obtenu avec la traction à vapeur, mais sans tenir compte, dans ce dernier cas, de l'amortissement du capital.

On avait tablé, pour les recettes, sur les données suivantes :

En supposant qu'il y ait eu 20 voyageurs à 125 francs, ce qui était un prix très réduit, on avait une recette de 2.500 francs, soit environ 500 francs de bénéfice par voyage, soit, par jour (avec 40 voyages dans les deux sens) un bénéfice de 20.000 francs, ce qui représente le 25 pour cent du capital engagé.

Ce projet n'a pas été réalisé.

Réalisation pratique des chemins de fer électriques à grande vitesse. — Actuellement, il n'existe aucune réalisation pratique de chemin de fer électrique à grande vitesse.

Un point sur lequel nous voulons appeler l'attention et qui explique en partie cet état de chose, c'est le côté financier de la transformation des lignes actuellement existantes : car c'est là que réside la *principale difficulté matérielle.*

Il n'est pas *douteux* que l'on puisse réaliser pratiquement, au point de vue technique, des locomotives qui traîneront des trains à la vitesse de 120 à 150 kilomètres à l'heure pour atteindre une vitesse commerciale de 100 kilomètres à l'heure : la solution de ce problème réside dans l'établissement de voies suffisamment solides et dans la transformation des voies existantes.

Mais c'est au point de vue purement *financier* que le problème se complique. En effet, cette transformation s'appliquera presque spécialement aux lignes à grand trafic et qui presque toujours ont une grande longueur, puisque l'augmentation de la vitesse commerciale a pour but de dégager les lignes trop encombrées et de diminuer le temps du trajet. Si l'on calcule les dépenses qu'il faudrait faire pour transformer une ligne de 1.000 kilomètres, Paris-Lyon-Marseille par exemple, avec des éléments suffisants pour assurer le trafic actuel, tant voyageurs que marchandises, on trouve une dépense moyenne de 450 à 500.000 francs par kilomètre, soit de 500 millions dans le cas considéré, pour les voies, les stations génératrices et accessoires seulement.

Quel que soit le résultat probable et les rendements financiers que pourrait donner une telle entreprise, l'on voit qu'il se passera encore du temps avant que les grandes Compagnies de chemins de fer se résignent à faire les transformations nécessaires, et nous estimons que c'est certainement là qu'est la difficulté, toute matérielle, de l'application de la traction électrique aux chemins de fer à grande vitesse. Dans un autre ordre d'idées, on conçoit difficilement que l'ensemble du trafic soit arrêté par un simple accident

aux rails conducteurs. De plus, l'État accepterait difficilement, comme nous l'avons déjà dit, un mode de traction qui pourrait rendre impossible la mobilisation des forces armées si, à ce moment, le conducteur était détruit.

Aussi croyons-nous que l'application des principes émis par M. J.-J. Heilmann sera la solution *intermédiaire* qui sera choisie d'ici peu, pour résoudre, d'une façon détournée, cet important problème. Cette solution pourra donner pendant quelques dizaines d'années des résultats vraiment pratiques, jusqu'à ce que les progrès de la science et de l'industrie aient permis de résoudre, dans toute sa généralité, le problème de la traction électrique appliquée aux trains à grande vitesse.

Au point de vue purement financier, on peut dire que les grandes Compagnies ne tenteront des essais sérieux que lorsqu'elles seront assurées du renouvellement ou de la prolongation des concessions: elles pourront alors mettre en ligne les avantages et les bénéfices que leur procurera la traction électrique, et cela en opposition avec les dépenses à faire, et nul doute qu'à ce moment elles n'adoptent les procédés de ce nouveau mode de traction.

CINQUIÈME PARTIE

TRACTION ÉLECTRIQUE SUR L'EAU
APPLICATIONS DIVERSES
TRACTION DANS LES MINES
VOITURES ROUTIÈRES ÉLECTRIQUES
TELPHÉRAGE

CHAPITRE I

TRACTION ÉLECTRIQUE SUR L'EAU

Bateaux automobiles et bateaux automoteurs. — Premiers essais : expériences de MM. Denèfle et Cie. — Description générale des deux systèmes employés. — Résultats d'expériences. — Comparaisons des deux systèmes : rapport de la Commission belge. — Prix de revient de traction électrique de la tonne kilométrique. — Traction électrique à voie sous-marine. — Bateaux automoteurs : premiers essais. — Exploitation actuelle à Bergen, description du système.

Les essais de traction électrique sur l'eau peuvent se diviser en deux catégories bien distinctes : ceux où le bateau est automobile, et ceux où il est automoteur. Nous examinerons séparément ces deux cas.

A. — Bateaux automobiles

Les premiers essais pratiques tentés dans cet ordre d'idées sont ceux de la Société de Traction électrique sur les voies navigables (Denèfle et Cie), sous la direction de l'ingénieur

M. Gaillot. Ces essais ont été faits sur le canal de Bourgogne à Dijon. Le principe employé est le même que celui des tramways électriques à fil aérien. Cette Société utilise de deux façons différentes l'énergie électrique, prise sur le fil de travail : 1° au moyen d'un bachot propulseur ; 2° au moyen d'un chariot de halage, appelé haleur, ou cheval électrique. Quelque soit le moyen employé, l'énergie électrique,



Fig. 248. — Station génératrice, placée à une écluse et alimentant une section.

est produite par une turbine faisant 180 tours par minute et placée à une écluse (*fig.* 248) : elle est actionnée par l'eau d'alimentation normale du canal et commande une génératrice électrique (600 tours par minute) dont le courant est envoyé sur le fil de travail (5 millimètres de diamètre).

Les appareils les plus intéressants qui caractérisent le système sont : le bachot propulseur et le haleur.

Bachot propulseur. — Ce bachot, complètement en fer, est muni d'une hélice, commandée directement par un

moteur électrique, tournant à environ 300 tours par minute. Ce bachot se place à l'arrière du bateau à remorquer : il a une disposition telle qu'il lui sert en même temps de gou-

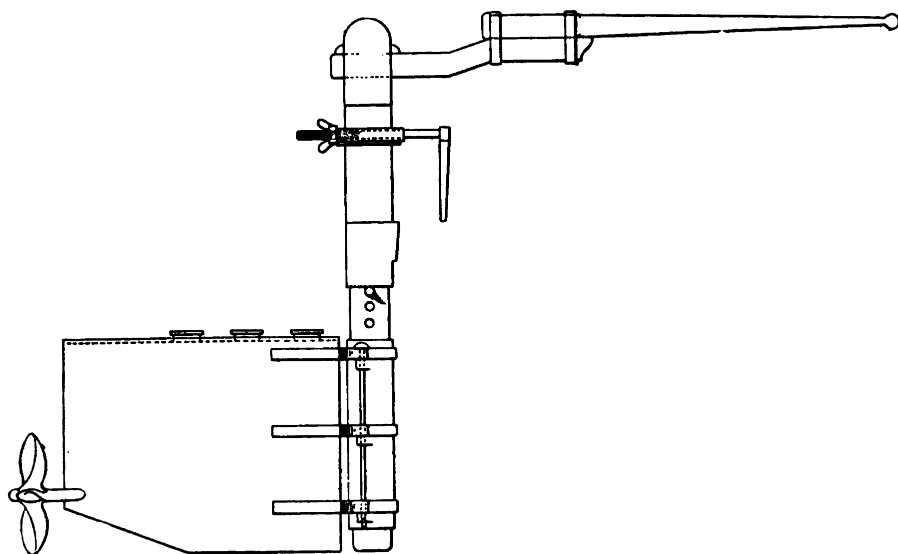


Fig. 249. — Bachot propulseur : élévation.

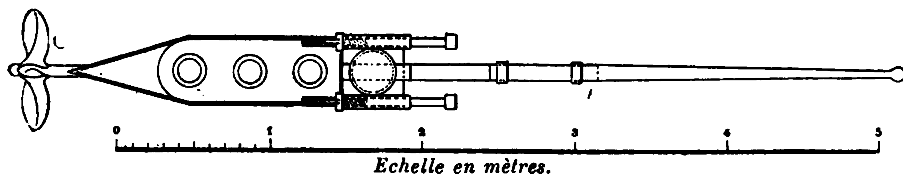


Fig. 250. — Vue en plan.

vernail et qu'il peut s'adapter à tous les bateaux, quelle que soit leur forme, car toutes les pièces le composant sont mobiles et distinctes. Les deux hommes qui conduisent le bateau suffisent pour fixer la barre verticale d'attelage et y assujettir le bachot propulseur. L'un des hommes gouverne la barre du bachot propulseur ; l'autre aide dans les manœuvres d'amarrage (*fig.* 249-250).

Le poids total du bachot propulseur est de 1.600 kilogrammes qui se répartissent ainsi :

Barres d'attelage.........	80
Collier..................	40
Barre de gouvernail......	60
Boîte de résistance.......	20
Bachot..................	700
	1.600 kilogrammes



Fig. 251. — Mise à l'eau du bachot propulseur.

Chariot haleur. — Cet appareil est un chariot à trois roues, ayant la forme générale d'un grand tricycle (*fig.* 252) : un moteur électrique commande l'essieu d'arrière. Le poids de l'appareil est de 2.000 kilogrammes. Le conducteur se tient assis, à l'arrière.

Il remorque actuellement deux bateaux de 200 tonnes chacun, soit 400 tonnes, à la vitesse moyenne de 2.000 mètres à l'heure.

Ce chariot haleur a été appelé également *cheval électrique*, parce qu'il remorque le bateau à la façon des chevaux de



Fig. 252. — Vue du chariot haleur, ou cheval électrique : appareil d'essai.

halage. Les figures 253 et 254 donnent la forme définitive de ce chariot, pour la marche pratique.

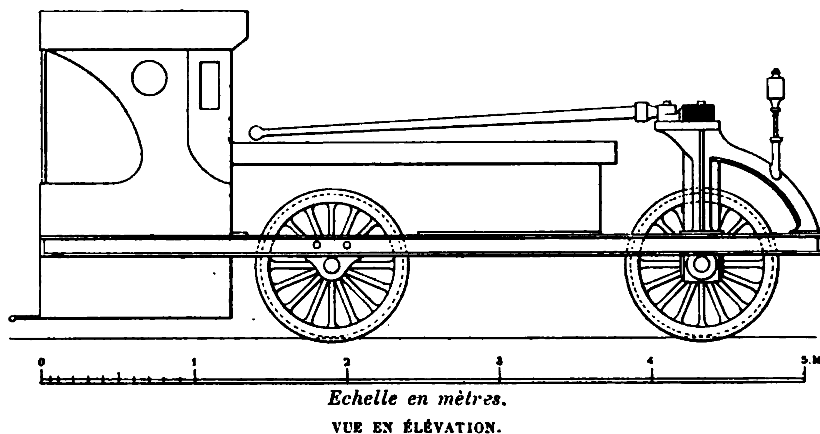
Essais pratiques. — Jusqu'à présent, on a fait divers essais que nous relatons :

Avec un bateau, *carré à l'arrière* (ce qui est le cas le plus désavantageux) et de 36 mètres de longueur, on a obtenu des vitesses constantes, avec les charges variables suivantes :

CHARGE en tonnes	VITESSE à l'heure en mètres
100	3.000
150	2.700 à 2.800
180	2.500 à 2.600
250	2.300 à 2.400

Nous donnons, d'autre part, dans les tableaux suivants, les essais officiels qui ont été faits, à Dijon, en décembre 1895.

Un bateau, dit *berrichon*, a atteint les vitesses de



Echelle en mètres.

VUE EN ÉLÉVATION.

FIG. 253. — Chariot haleur ou cheval électrique.

4.000 mètres à l'heure, avec une charge de 70 tonnes. Il est certain qu'avec un bateau découpé à l'arrière, ce qui permettrait à l'eau d'arriver plus facilement à l'hélice, on

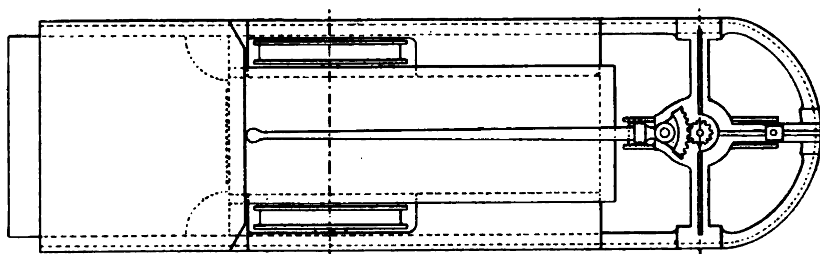


FIG. 254. — VUE EN PLAN.

augmentera encore la vitesse, sans une plus grande dépense d'énergie, et cela à charge égale.

Nous donnons, dans le tableau ci-contre, les premiers résultats officiels de ces essais :

ESSAIS DE VITESSE DES BATEAUX

AU MOYEN DES APPAREILS ÉLECTRIQUES DE MM. DENÈFLE ET Cie, EN PRÉSENCE DU CONDUCTEUR DE LA SUBDIVISION DE DIJON

DATES des expériences	NOMS DES BATEAUX et indications diverses	LONGUEUR	LARGEUR	TONNAGE	BACHOT PROPULSEUR À HÉLICE — Vitesse maxima par heure au propulseur à hélice	BACHOT PROPULSEUR À HÉLICE — OBSERVATIONS relatives aux hélices	CHEVAL ÉLECTRIQUE de halage — Vitesse maxima par heure au cheval électrique circulant sur la levée	OBSERVATIONS
1895								
13 déc.	*Le Petit Marcel.* Marche en avant.	38.50	5.05	186 T	2,150m	Vitesse donnée par l'hélice n° 4	»	Vent assez fort à l'arrière, dans le sens de la marche.
14 déc.	— —	38.50	5.05	181 T	3,000m	Vitesse donnée par l'hélice n° 5	»	Vent assez fort à l'arrière, dans le sens de la marche.
—	— Marche en arrière.	38.50	5.05	186 T	»	»	2.480m	Même vent, contraire à la marche.
	Convoi composé de trois bateaux Marche en avant							
—	1° *Le Petit Marcel.* . . . 186 T.	38.50	5.05	418 T	»	»	2.200m	Même vent, dans le sens de la marche.
	2° *La Petite Angèle* . . . 156 T.	36.45	5.05					
	2° *Le Lutin* (berrichon). . 76 T.	31.70	2.05					
—	*Le Lutin* (berrichon). Marche en avant	31.70	2.55	76 T	3,350m	Vitesse donnée par l'hélice n° 4	»	Vent faible à l'arrière, dans le sens de la marche.
17 déc.	— —	31.70	2.55	76 T	4,240m	Vitesse donnée par l'hélice n° 5	»	Temps calme.
—	— —	31.70	2.55	76 T	»	»	4.240m	Temps calme.

Les vitesses obtenues en dernier lieu ont augmenté.

Ce tableau a été dressé par le conducteur des Ponts et Chaussées chargé de contrôler les vitesses.

Remarquons que l'augmentation des vitesses, signalée par le conducteur des Ponts et Chaussées, après sa constatation officielle, provient de l'emploi de nouvelles hélices.

Les résultats obtenus ci-dessus ont été réalisés avec une seule machine génératrice pour la distribution d'énergie électrique sur une ligne de 4 kilomètres.

Pendant la marche, la dynamo de l'écluse donnait un courant de 5 à 15 ampères sous 300 à 350 volts; à la réceptrice, la tension variait de 250 à 300 volts.

Ces expériences ont été les premières qui furent faites; quelques mois plus tard, en mars 1896, elles furent répétées devant une Commission spéciale, envoyée par le Gouvernement belge, pour étudier ce mode de traction.

Les résultats de ces expériences sont consignés dans le tableau suivant:

DATES DES EXPÉRIENCES	NOMS DES BATEAUX et INDICATIONS DIVERSES	LONGUEUR des bateaux en mètres	LARGEUR des bateaux en mètres	TONNAGE des bateaux en tonnes	VITESSE par heure en mètres au propulseur à hélice	VITESSE par heure en mètres au cheval électrique	OBSERVATIONS DIVERSES
	A. — Convoi de 3 bateaux au Bief n° 56						La marche a été interrompue avant que la vitesse maxima ait été atteinte.
	1° MARCHE EN AVANT AU CHEVAL ÉLECTRIQUE						Les bateaux commençaient seulement à avoir une bonne direction.
	Le Suzon 217 tonnes	38,30	5,02				
	Il reviendra 217 —	38,20	4,97	566	»	1.990	
	La Côte-d'Or 132 —	38,65	5,00				
1896	2° MARCHE EN AVANT A L'HÉLICE						
9 mars	Vitesse par heure à chaque hectomètre:						
	Le Suzon........................	38,38	5,02	217	2.140	»	
	1er hectomètre observé................	—	—	—	2.500	»	
	2e —	—	—	—	2.700	»	
	3e —	—	—	—	3.310	»	
	4e —	—	—	—	2.970	»	
	5e —	—	—	—	2.950	»	
	6e —	—	—	—	2.820	»	
	7e —	—	—	—	3.150	»	
	B. — Convoi de 4 bateaux au Bief n° 56						
	1° MARCHE EN AVANT AU CHEVAL ÉLECTRIQUE						
	Le Petit Marcel 173 tonnes.........	38,15	5,05				
	Le Suzon 217 —	38,38	5,02	739	»	1.880	Marche interrompue après 200 mètres.
	La Côte-d'Or 132 —	30,65	5,00				
	Il reviendra 217 —	38,20	4,97				
10 mars	2° MARCHE EN AVANT A L'HÉLICE AU BIEF N° 56						
	Vitesse par heure à chaque hectomètre:						Sur 3 hectomètres la vitesse a été la même dans chacun d'eux.
	Le Petit Marcel	38,15	5,05	173	2.400	»	
	1er hectomètre observé................	—	—	—	2.660		
	2e —	—	—	—	2.520		
	3e —	—	—	—	3.000		
	4e —	—	—	—	2.750		
	C. — Convoi de 3 bateaux au Bief n° 56						
	1° MARCHE EN AVANT AU CHEVAL ÉLECTRIQUE						
	Le Dijonnais 154 tonnes	30,65	5,06				
	Le Petit Marcel 170 —	38,15	5,05	541	»	2.000	Marche interrompue trop tôt.
	Il reviendra 217 —	38,20	4,97				
	2° MARCHE EN AVANT A L'HÉLICE AU BIEF N° 56						
	Vitesse par heure à chaque hectomètre :						
	Le Petit Marcel......................	38,15	5,05	170			
	1er hectomètre observé................	—	—	—	2.400	»	
	2e —	—	—	—	2.460	»	
	3e —	—	—	—	2.440	»	
17 mars	4e —	—	—	—	2.650	»	
	5e —	—	—	—	2.980	»	
	6e —	—	—	—	2.750	»	
	2° MARCHE EN AVANT A L'HÉLICE AU BIEF N° 56						
	Vitesse par heure à chaque hectomètre:						
	Le Petit Marcel......................	38,15	5,05	170			
	1er hectomètre observé................	—	—	—	2.800	»	
	2e —	—	—	—	2.830	»	
	3e —	—	—	—	2.770	»	
	4e —	—	—	—	3.130	»	
	5e —	—	—	—	3.240	»	On approche de l'écluse.
	6e —	—	—	—	3.050	»	

La Commission spéciale, dans son rapport, s'exprime ainsi sur ces essais [1] :

« Le cheval électrique a, en notre présence, opéré séparément le halage :

1° D'une rame de trois bateaux, d'une charge totale de 566 tonnes ;

2° D'une rame de quatre bateaux, d'une charge totale de 739 tonnes.

« La traction de ces convois s'est faite régulièrement et sans aucun incident; la vitesse de remorquage a été de 1.900 mètres par heure environ. Malgré la forte charge qu'il remorquait, le cheval électrique circulait sur la digue d'une façon bien stable et sans déviation transversale sous l'action oblique du câble de halage. Nous n'avons pas constaté que la circulation du tricycle eut occasionné de détérioration appréciable au chemin de halage.

« Le bachot propulseur à hélice appliqué à l'arrière d'un bateau de $38^m,38$ de longueur et de $5^m,02$ de largeur, avec un chargement de 217 tonnes, a fait marcher ce bateau, le 9 mai, à une vitesse variant de 2.410 mètres à 3.150 mètres par heure. Le 10 mai, le même engin a propulsé, à des vitesses de 2.400 à 3.000 mètres par heure, un bateau de $38^m,15$ de longueur et de $5^m,07$ de largeur, portant 173 tonnes.

« Les essais auxquels nous avons assisté nous ont montré que le bateau obéit au gouvernail, muni du propulseur à hélice, au moins aussi bien qu'à un gouvernail ordinaire. »

Cet extrait du rapport de la Commission démontre donc que les principes émis par MM. Denèfle et Cie sont un progrès sur ce qui existe actuellement, ce qui sera confirmé quand nous examinerons le prix de revient de la tonne kilométrique, car c'est là le point essentiel : faire de la traction à bon marché.

Prix de revient de traction électrique de la tonne kilométrique. — MM. Denèfle et Cie ont bien

(1) *Annales des Travaux publics.* Août 1896.

voulu nous communiquer le résultat des expériences qu'ils ont faites à ce sujet. Nous donnons les prix suivants se rapportant à la tonne kilométrique.

Des essais exécutés au canal de Bourgogne il résulte que, dans un bief, ayant une tenue normale d'environ 2 mètres d'eau, la traction d'un bateau, portant 200 tonnes et marchant à une vitesse de 2.700 à 2.800 mètres à l'heure, exige une dépense de 7 à 8 ampères-heure, sous 300 volts, soit 2.100 à 2.400 watts-heure.

Quand le tonnage est de 400 tonnes, avec deux bateaux également chargés, la vitesse restant la même, l'on a une dépense de 15 ampères, soit 4.500 watts-heure.

De sorte que, pour des bateaux chargés de 200 à 300 tonnes la dépense en énergie électrique est de 3.000 watts-heures.

Le kilowatt-heure rendu aux appareils de traction coûtait 0 fr. 20. En supposant qu'on prenne le prix moyen obtenu dans les distributions d'énergie électrique, soit de 0 fr. 30 à 0 fr. 40, on voit qu'un bateau coûterait de :

$$3 \times 0{,}30 = 0 \text{ fr. } 90 \quad \text{à} \quad 3 \times 0{,}4 = 1 \text{ fr. } 20$$

par heure de marche. Comme, pendant ce temps, il ferait de 2,5 à 3 kilomètres, en remorquant 300 tonnes, soit de 750 à 900 tonnes kilométriques, le prix de revient de la tonne kilométrique transportée serait de :

$$\frac{0{,}90}{750} \text{ à } \frac{1{,}20}{900} = 0 \text{ fr. } 0012.$$

Si l'on ramène le prix aux *cent tonnes kilométriques*, ce qui est le chargement moyen d'un bateau, on a comme prix de revient du *bateau-kilomètre :*

$$0{,}0012 \times 100 = 0 \text{ fr. } 12.$$

Ce prix n'est actuellement qu'une indication, car il dépend essentiellement du trafic du canal et, par conséquent, de l'utilisation du matériel.

En même temps, on peut remarquer que le prix de 0 fr. 40, pris pour celui du kilowatt-heure électrique produit hydrauliquement, est élevé et qu'on peut espérer obtenir un prix meilleur, pour celui du bateau-kilomètre, étant entendu que l'intérêt et l'amortissement du capital engagé dans ces installations serait compté.

Car, si l'on prend le prix de 0 fr. 20, pour celui du kilowatt-heure, on a comme prix de la tonne kilométrique :

$$\frac{0,60}{750} \text{ à } \frac{0,60}{950} = 0 \text{ fr. } 00073,$$

soit pour le prix du bateau-kilomètre de 100 tonnes :

$$0,00073 \times 100 = 0 \text{ fr. } 073.$$

A ce prix il faudrait ajouter comme précédemment ceux qui se rapporteraient aux charges d'intérêt et d'amortissement du capital de premier établissement, ainsi qu'à celles de l'entretien du matériel et de la ligne.

Quoi qu'il en soit, on voit combien ces résultats sont encourageants et peuvent faire espérer que la solution *tant cherchée* du problème des transports à grande et à constante vitesse sur les canaux est enfin résolu pratiquement.

Des essais plus en grand, qui doivent avoir lieu sur le même canal de Bourgogne, permettront de se faire une opinion définitive ; mais nous estimons que, d'après les résultats obtenus pour la traction des tramways, ceux qu'on obtiendra, concernant la traction électrique sur canaux, ne seront pas inférieurs. Pour réaliser ces essais pratiques, MM. Denèfle et Cie ont étudié un projet d'ensemble pour remorquer 60 bateaux marchant simultanément sur une longueur de 242 kilomètres ; ce trafic prévu est largement suffisant, car, d'après les statistiques officielles, il ne circule pas plus de 30 bateaux, avec un tonnage moyen de 110 à 120 tonnes.

La force motrice serait produite hydrauliquement par 30 usines, placées aux écluses principales, chaque station étant distante de la suivante de 8 kilomètres en moyenne.

Comparaison entre les deux systèmes. — Pour comparer les deux systèmes employés, nous ne saurions mieux faire que de citer les conclusions du rapport de la Commission belge, qui sont les suivantes :

« La lecture des tableaux ci-dessus, qui résument le résultat des essais, montre que le tricycle de halage donne un rendement plus grand que le propulseur ; il permet d'opérer la remorque d'un convoi de bateaux ; il convient donc mieux que le propulseur pour la navigation des bateaux en rivières ou sur de très longs biefs.

Par contre, il a l'inconvénient d'exiger un ouvrier pour le faire fonctionner sur la digue, tandis que le propulseur est manœuvré par le marinier qui est à bord du bateau. Le propulseur n'est pas une cause de détérioration de la plate-forme de la digue ; il évite l'emploi de la corde de halage qui est une sujétion quand deux bateaux se croisent, et il peut laisser la digue libre pour la traction animale et pour le passage des voitures.

A cause du bachot, la longueur occupée par le bateau dans l'écluse est augmentée de $0^m,44$ quand le gouvernail est rabattu pour le sassement ; ce rabattement est cause que, pour produire le mouvement initial de mise en marche du bateau hors du sas, le propulseur agit obliquement à l'axe de l'embarcation, jusqu'au moment où celle-ci s'est suffisamment déplacée pour permettre le redressement du gouvernail dans l'écluse.

« Ces sujétions seraient beaucoup diminuées et même annulées, en faisant usage de bateaux dont la poupe serait convenablement découverte et non de bateaux dont l'arrière est presque vertical et carré, comme ceux qui ont servi aux essais.

En ce qui concerne la consommation d'énergie électrique pour les deux systèmes, nous avons appris que, dans les expériences faites à Dijon antérieurement au 31 janvier 1896, les bateaux traînés par le haleur sur berge dépensaient environ 10 à 12 ampères sur 300 volts, soit 3.000 à 3.600 volts ; ceux propulsés à l'hélice prenaient 14 à 15 ampères, et dans ce cas le voltage fourni par les génératrices était de 250 à

280 volts, suivant que l'eau arrivait plus ou moins bien sur la turbine: c'est un travail de 4.000 watts environ. »

Dans quelques mois, des expériences plus en grand fixeront les intéressés sur cette qnestion.

B. — Bateaux automoteurs

La seconde manière, employée pour la traction électrique sur eau, consiste à emmagasiner l'énergie électrique, dans des accumulateurs placés sur le bateau, et à la dépenser au fur et à mesure des besoins.

Jusqu'à présent, étant donné le prix de revient élevé de l'énergie ainsi produite et l'entretien que nécessitent les accumulateurs, ce mode de traction n'a été appliqué qu'aux bateaux de plaisance, d'un poids relativement peu élevé.

L'un des premiers essais de ce genre fut fait sur un petit bateau de plaisance *l'Éclair*, qui circula pendant quelque temps sur la Seine, entre Asnières et Argenteuil.

A Londres, une Société tenta d'exploiter ce système en créant une petite flottille qui circulait sur la Tamise et allait de Londres aux environs.

Actuellement, fonctionne en Norwège, à Bergen, un service régulier de huit bateaux électriques. Nous donnerons quelques détails sur cette application.

Ces bateaux ont 7^{m},90 de longueur et 2 mètres de largeur : ils peuvent transporter normalement 18 personnes et jaugent 6 tonnes.

L'équipement électrique est fait au moyen d'une batterie d'accumulateurs placés sous les banquettes. Pour éviter les virages, à chaque extrémité du bateau se trouve une hélice, commandée directement par un petit moteur électrique. La batterie est calculée pour effectuer un parcours moyen de 70 kilomètres et chaque bateau, partant de cinq en cinq minutes, de sept heures du matin à dix heures du soir, transporte, en moyenne, 220 personnes par jour, soit un trafic moyen de 1.800 personnes pour les huit bateaux.

Une petite station, placée sur le quai, charge pendant la

nuit les batteries : elle comprend une seule machine à vapeur, actionnant une dynamo de 30 chevaux.

Dernièrement, un essai du même genre a été fait sur un bateau d'un tonnage plus important. Ce bateau, appartenant à M. J.-J. Astor, et construit par la Electric Lamch C°, a une longueur de 14^{m},15 et 63 centimètres de tirant d'eau aux hélices. L'équipement électrique est fait également, au moyen d'une batterie d'accumulateurs, au chlorure de plomb, composée de 168 éléments d'une capacité de 159 ampères-heures chacun. La puissance normale est de dix chevaux et peut atteindre, à un moment donné, la puissance de 30 chevaux. Ces batteries envoient le courant à deux moteurs qui commandent chacun une hélice ; les deux contrôleurs ou manipulateurs sont placés près de la roue de commande du gouvernail, de sorte que l'on a réuni en un même endroit les deux appareils principaux commandant la direction et la propulsion.

Application des procédés J.-J. Heilmann à la traction électrique des bateaux de fort tonnage. — On peut classer, dans cette deuxième catégorie des bateaux automoteurs, les bateaux sur lesquels on appliquera d'ici peu les procédés de M. J.-J. Heilmann. Comme nous l'avons vu pour les locomotives électriques du système de cet inventeur, une machine à vapeur commande directement une génératrice électrique dont le courant est envoyé aux moteurs électriques. Dans cette application, les moteurs électriques commanderont directement les hélices. La puissance mécanique d'un tel ensemble n'étant pas limitée autrement que par des considérations d'encombrement, on pourra appliquer facilement ce système à la propulsion des bateaux de fort tonnage.

Ce système a plusieurs avantages : il supprime l'arbre de couche et en même temps les accidents assez fréquents qui arrivent à cet organe. En supprimant cet organe mécanique, on améliore le rendement de l'ensemble, car l'arbre de couche absorbe, pour lui-même, une proportion notable d'énergie mécanique. Comme nous l'avons vu, en employant

des machines à grande vitesse, on a des machines dont les pièces en mouvement sont complètement équilibrées : d'où la *suppression des trépidations* si gênantes pour les passagers d'un bateau. L'emploi de ce système permettra de diviser les groupes unitaires et de les placer où l'on voudra : cet avantage augmente la sécurité de la marche, puisque l'appareil moteur n'est plus unique et que l'arrêt d'un des groupes peut survenir, sans pour cela arrêter les autres ; de plus, cette division des groupes unitaires ne nécessitant plus une chambre de machine *unique*, la profondeur du bateau, c'est-à-dire le tirant d'eau, pourra être diminuée, d'où une résistance moins forte à la propulsion. Disons, en passant, que pour l'application de ce système on pourra étudier une forme de *coque beaucoup plus rationnelle* que celle qui s'impose avec les procédés actuellement employés.

Enfin, le plus grand avantage peut-être de ce système sera de placer les hélices où l'on voudra, de leur donner de plus grandes dimensions et de les faire tourner à une plus grande vitesse ; ce qui est une condition excellente pour avoir un bon rendement organique. De plus, le couple pendant un tour sera constant, ce qui n'existe pas actuellement avec les hélices commandées par arbre de couche. Pour terminer, disons que ce système permettra de rassembler *en un même point*, toutes les commandes des différentes manœuvres : mise en marche, en vitesse, direction, ralentissement et arrêt : cela sera obtenu en faisant varier l'excitation de la dynamo génératrice, comme pour la locomotive du même système. Nous sommes convaincus que l'application du système J.-J. Heilmann à la propulsion des bateaux constituera un progrès réel sur ce qui existe actuellement. Du reste, d'ici peu nous serons fixés, car des essais seront faits sur la Seine, avec un bateau de la dimension de ceux qui y circulent, et les meilleurs arguments seront ceux donnés par la pratique.

Tramway électrique à voie sous-marine. — Pour terminer ce chapitre, nous mentionnerons une application curieuse de la traction électrique qui vient d'être faite

entre Brighton et Rottingdan, en Angleterre : nous la citons, à titre de curiosité, pour faire voir combien la traction électrique peut se plier facilement à des exploitations différentes. Il s'agissait de réunir Brighton au village de Rottingdan, qui est très fréquenté comme plage balnéaire; ces deux points sont séparés par une baie dont la profondeur, à la pleine mer, est de peu d'importance : le fond de la baie étant plan, on a installé, sur des poutres solidement encastrées dans des blocs de béton, les rails qui forment chemin de roulement : la voie ainsi constituée est double : une voie d'aller et une voie de retour. Sur cette voie submergée à la pleine mer, circule une voiture ordinaire de grandes dimensions (6 mètres de longueur) à impériale; elle peut transporter 150 personnes ; la caisse de cette voiture est placée sur une sorte de pylône en acier, haut de 10 mètres et monté sur huit essieux, dont les roues reposent sur les rails submergés ou non, selon que l'on est en pleine ou en basse mer : le mouvement est communiqué à ces roues par deux moteurs placés sur la voiture et alimentés au moyen d'un trolley ordinaire, prenant le courant sur des fils portés par de grands poteaux métalliques. La tension est celle admise ordinairement, soit 500 volts.

La vitesse moyenne que l'on atteint avec ce véhicule spécial, qui se déplace entre le ciel et l'eau, est de 10 kilomètres à l'heure à marée basse, de sorte qu'il ne faut pas plus de trente minutes pour aller d'un port à l'autre. A marée haute, la vitesse atteinte pendant les essais a été de 8^{km},85 à l'heure.

CHAPITRE II

APPLICATIONS DIVERSES

Traction dans les mines : description générale. — Telphérage Voitures routières électriques

A. — TRACTION ÉLECTRIQUE DANS LES MINES

La traction électrique a été appliquée pour l'exploitation des mines à ciel ouvert et à galeries souterraines.

Le seul principe employé, à notre connaissance, est celui du fil de travail aérien : une locomotive électrique remorquant plusieurs wagonnets remplis de minerai.

Quoique ce mode de traction offre toutes facilités, il est encore assez peu répandu dans l'exploitation des mines, à galeries souterraines, qui sont en général peu élevées ; il y a une certaine difficulté à placer le fil de travail qui se trouve alors trop bas et peut être une cause de danger pour les ouvriers qui circulent dans ces galeries.

Nous donnons (*fig.* 255) l'ensemble d'une locomotive électrique, qui fonctionne actuellement dans une mine du nord de la France ; elle a été étudiée et construite par M. Neu, de Lille.

Le moteur électrique, placé parallèlement à la voie, commande par engrenages, l'un des essieux moteurs ; au dessus, se trouve une caisse contenant les résistances nécessaires aux diverses manœuvres faites au moyen d'un volant-commutateur ; sur le côté, un interrupteur, à portée de la main du conducteur-mécanicien, permet la mise en marche ou l'arrêt. Pour ne

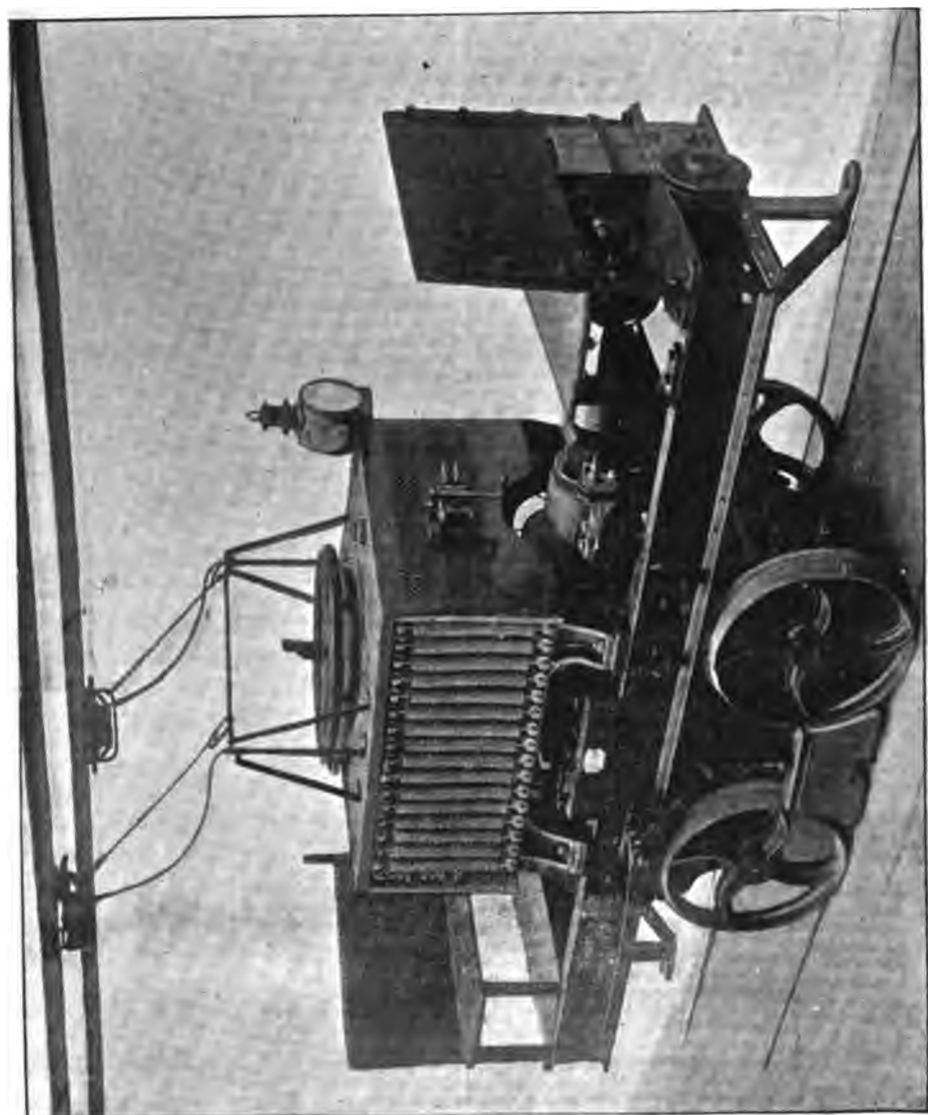


FIG. 255. — Locomotive électrique de mine, construite par M. Neu.



Fig. 256. — Locomotive électrique pour mine, système Thomson-Houston.

pas avoir à retourner la locomotive, il y a un double poste de manœuvre.

La prise de courant se fait au moyen d'un double trolley spécial, qui, comme dans le système de trolley à navette, est tiré par une cordelette, au fur et à mesure de l'avancement



Fig. 257. — Locomotive électrique.

de la locomotive : un fil électrique, non tendu, amène le courant au moteur électrique. Le retour du courant ne se fait pas par les rails de la ligne qui est à double fil de travail.

Les figures 255 à 258 représentent divers types de locomotives électriques circulant actuellement dans des mines.

Dans les mines on cherche souvent à appliquer à la traction

électrique les courants polyphasés, car ils permettent de n'avoir qu'une seule station centrale pour l'éclairage électrique, la commande des treuils, monte-charges, perforatrices et la traction électrique. Avec ce système on supprime l'entretien des collecteurs et des balais, indispensable quand on emploie le courant continu ; de plus, les moteurs, étant de construction plus simple et plus robuste, demandent moins d'entretien.

Avec les courant polyphasés, on distribue économiquement l'énergie électrique, car on peut employer ces courants à tension moyenne (de 1.000 à 2.000 volts) et les transformer pour les rendre utilisables aux moteurs, ce qui a le double avantage de diminuer dans une assez forte proportion les frais de premier établissement et de distribuer l'énergie électrique aux locomotives, en des points éloignés de la station centrale. Ce dernier avantage n'est pas négligeable, car certaines mines ont jusqu'à 30 et 40 kilomètres de développement de galeries. Avec le courant continu, le prix d'établissement de la traction électrique serait très coûteux, et c'est peut-être là une des raisons pour lesquelles ce mode de traction est, actuellement, assez rarement employé dans les mines.

Quoi qu'il en soit, en employant dans les mines les courants alternatifs pour la traction électrique seule, on pourra réduire les frais de premier établissement, en comparaison de ceux qu'on obtiendrait avec les courants continus. Pour en donner une idée, nous donnerons l'exemple pratique suivant que nous avons étudié.

Il s'agissait de transporter 1.500 tonnes de minerai, par journée de dix heures, à une distance de 5.000 mètres du lieu d'extraction. Pour satisfaire à ce trafic, deux locomotives, circulant en même temps, étaient suffisantes. Comme chaque locomotive devait remorquer, pour faire le trafic indiqué, 10 wagons pesant 1 tonne et 60 tonnes de minerai, la locomotive pesant 20 tonnes, on avait besoin, avec un coefficient de traction de 15 kilogrammes, sur une rampe maxima de 6 millimètres, et à la vitesse de 4 mètres par

seconde ($14^{km},5$ à l'heure), d'une puissance à la locomotive de :

$$\frac{90 \times (15 + 6) \times 4}{75} = 100 \text{ chevaux},$$

soit, en prenant un rendement total de 50 pour cent à la station génératrice, une puissance nécessaire de 400 chevaux



FIG. 258. — Locomotive électrique.

pour les deux locomotives circulant en même temps. Avec une réserve de 200 chevaux, on aura donc une puissance totale de 600 chevaux à l'usine.

On avait prévu 2 locomotives de réserve.

Avec une distribution à 500 volts aux bornes des moteurs;

dans les deux cas comparatifs considérés, le prix de la partie mécanique restant le même, on avait les dépenses suivantes *pour le matériel électrique seulement.*

A. — AVEC COURANT CONTINU

Station génératrice (500 volts)	80.000
Ligne aérienne	35.000
4 locomotives	68.000
Total	183.000

Soit, par cheval électrique : $\frac{183.000}{600} = 300$ fr.

B. — AVEC COURANT ALTERNATIF TRANSFORMÉ

Station génératrice (2.400 volts)	70.000
Ligne aérienne et transformateurs	30.000
4 locomotives	60.000
Total	160.000

Soit, par cheval électrique : $\frac{160.000}{600} = 266$ fr.,

soit une économie de 13 pour cent en faveur de la distribution par courant alternatif.

Cette différence s'accentuerait si la ligne avait été plus longue : si la longueur doublait, on pourrait dire approximativement que l'économie réalisée serait de 30 pour 100. On voit par cet exemple qu'il est nécessaire d'étudier, dans chaque cas particulier, quel sera le mode de distribution le plus économique.

B. — Telphérage

On emploie la traction électrique pour transporter automatiquement, et d'une façon continue, des marchandises d'un point à un autre par un procédé appelé *telphérage.* Le professeur Jenkin a fait, le premier, une application de ce genre à Glynde. Le principe de cette disposition (*fig.* 259) consiste à se servir de la ligne aérienne (placée sur poteau à la façon ordinaire), comme ligne de distribution et *voie de*

roulement. Comme on ne peut pas se servir de la voie de roulement pour le retour du courant, le professeur Jenkin a trouvé l'heureuse disposition suivante : les voies d'aller et de retour sont constituées par le circuit électrique, dont les

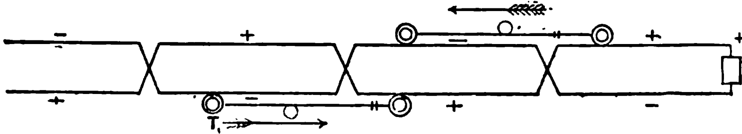


Fig. 259. — Disposition schématique de la ligne aérienne.

deux pôles sont alternativement croisés, comme l'indique la figure 259. L'appareil transporteur a la longueur d'une sec-

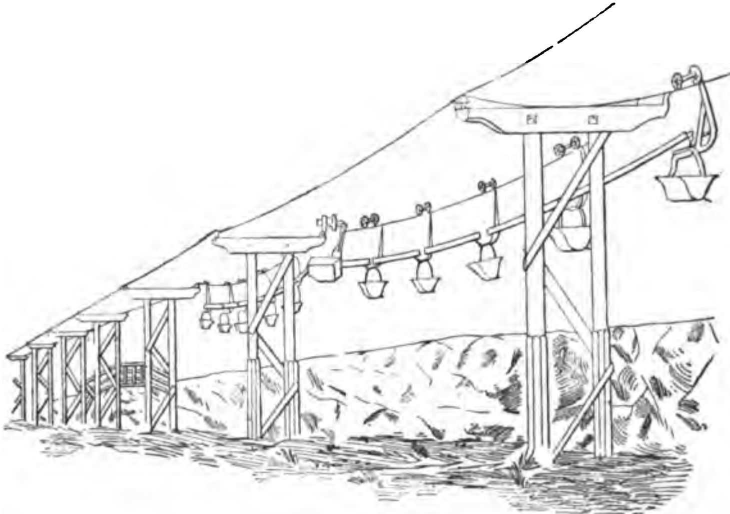


Fig. 260. — Vue d'ensemble d'une installation de telphérage.

tion ; le moteur électrique placé en avant est un moteur enroulé en série. Quand l'ensemble passe d'une section de polarité + à la suivante de polarité contraire —, un appareil spécial renverse *en même temps* le courant dans l'induit et les inducteurs du moteur, de sorte que le sens de rotation du moteur n'a pas changé, et l'ensemble continue ainsi son mouvement, en passant d'une section à l'autre.

Ce système, très ingénieux, est surtout applicable dans les cas où l'on a un trafic constant : tel est le cas de l'exploitation des carrières et des mines à ciel ouvert, où l'on transporte par jour plusieurs centaines de tonnes de minerai, et cela d'une façon continue. De plus, comme ce système peut être installé d'une façon très rudimentaire, il est peu coûteux ; enfin, il est facile de transporter l'ensemble, constituant ce système, d'un point de l'exploitation à un autre ; ce qui, dans ce genre d'industrie, est très pratique. Disons, pour terminer, qu'il existe trois installations de telphérage en Angleterre, et que les résultats pratiques obtenus sont très satisfaisants.

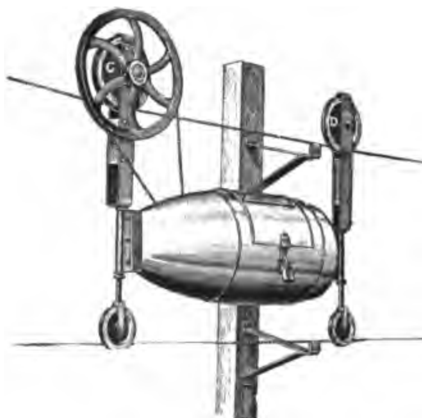


Fig. 261.

En Amérique, le principe du telphérage, un peu modifié, est appliqué à l'expédition des colis et marchandises d'un point à plusieurs autres. L'*Electric Express and transportation C°*, de New-York, emploie les deux transporteurs des figures 261 et 262.

Le transporteur roule sur deux fils, qui servent en même temps de conducteurs, le poids du wagonnet est ainsi mieux réparti : l'entrée du courant se faisant par le fil supérieur, la sortie par le fil inférieur. Un petit moteur de deux à trois chevaux actionne le véhicule, construit en matériaux aussi légers que possible, et la vitesse moyenne est de 30 à 35 kilomètres à l'heure.

Pour arrêter le transporteur en un point déterminé, un employé manœuvre un interrupteur qui isole électriquement le circuit : le moteur, n'étant plus alimenté, s'arrête sur une certaine longueur, déterminée par la pratique.

La Compagnie, mentionnée plus haut, estime à 7.000 francs

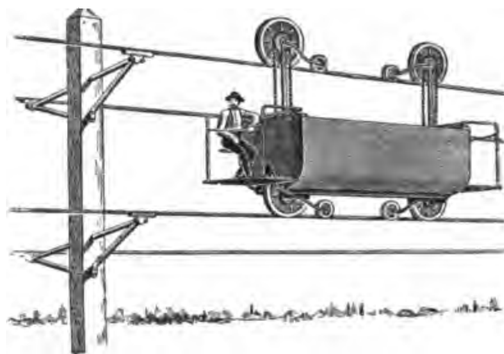


Fig. 262.

le coût d'installation du kilomètre de ligne, avec poteaux en bois et potences en fer, pour un trafic moyen. Ce système très pratique de transporteur semble presque spécialement destiné à desservir plusieurs localités voisines qui échangent entre elles des marchandises d'une façon régulière et continue.

C. — Voitures routières électriques

Les voitures routières électriques appartiennent au genre *automoteur*, puisqu'elles emportent avec elles l'énergie nécessaire à leur propulsion, et qui est emmagasinée dans des accumulateurs électriques. La capacité limitée des batteries et leur poids relativement considérable sont, actuellement, les deux raisons qui ont empêché ce mode de traction de prendre plus d'extension ; en outre, la recharge des batteries exige que la voiture ne s'éloigne pas trop du point central où l'on peut effectuer la charge des accumulateurs, et cette condition

fait qu'on ne pourra employer *pratiquement* ce mode de traction que dans les villes possédant des stations centrales. Aussi, peut-on dire que l'emploi des voitures à accumulateurs sera presque seulement possible dans les grands centres, où l'on pourra établir de petits postes de charge : toutes les quatre ou cinq heures, la voiture viendra alors renouveler sa provision d'énergie électrique. Les accumulateurs à charge rapide, qu'on sait faire aujourd'hui, faciliteront ce nouveau mode d'exploitation.

Quoi qu'il en soit, lorsque ces quelques difficultés pratiques seront résolues (et il suffira pour cela de quelques années), nous estimons que ce mode de traction prendra, par rapport aux autres genres de voitures automotrices à vapeur ou à pétrole, une extension très importante, qui s'explique par la facilité de marche de toute voiture employant le moteur électrique, dont la conduite, le réglage et les changements de vitesse sont obtenus par la manœuvre d'un simple commutateur et sans intermédiaires d'organes mécaniques délicats et d'un entretien dispendieux, qui se retrouvent, comme accessoires indispensables, dans les autres systèmes de voitures automotrices.

Dans toutes les voitures routières électriques à accumulateurs, on retrouve les mêmes organes : une batterie d'accumulateurs alimente directement le moteur électrique commandant par engrenage l'un des essieux qui devient moteur ; en général, c'est l'essieu d'arrière.

Un commutateur, à portée de la main du conducteur, permet de faire toutes les manœuvres : mise en marche, variation de la vitesse, arrêt.

Nous donnons la description de quelques voitures routières à accumulateurs existant actuellement.

Voiture Jeantaud. — M. Jeantaud a, le premier, appliqué la traction électrique par accumulateurs aux voitures légères ; aussi nous donnerons quelques détails sur cette voiture qui est la mieux étudiée de celles que nous connaissons. Jeantaud fit une première voiture à deux places pour déterminer les éléments de construction et se rendre compte de

ce qu'on pouvait demander à une telle voiture. En 1895, pour la course Paris-Bordeaux, il construisit une voiture à six places (*fig.* 263). M. Jeantaud s'est attaché à lui donner une forme ne blessant pas l'œil et faisant supporter le manque de chevaux.

La charge par essieu est répartie proportionnellement aux rayons des roues: celles de devant, ayant 1 mètre de

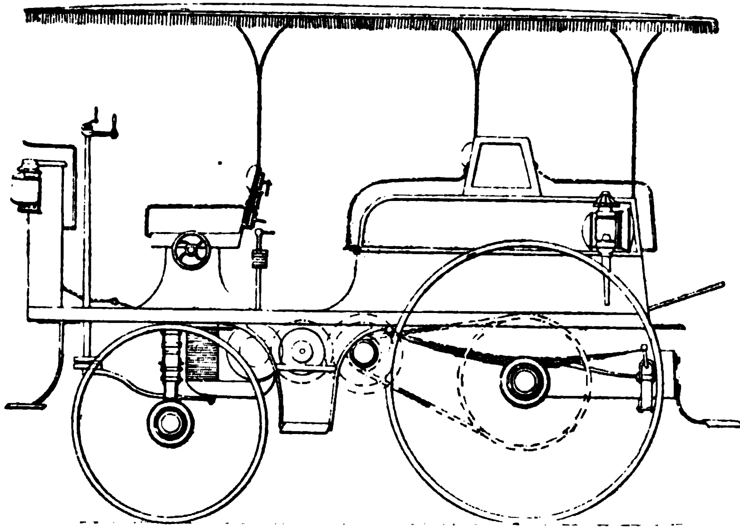


Fig. 263. — Voiture électrique Jeantaud. — Vue d'ensemble.

diamètre, supportent 900 kilogrammes; celles d'arrière, ayant 1^m,40 de diamètre, supportent 1.300 kilogrammes; le poids total de la voiture est de 2.200 kilogrammes.

L'avant-train, monté sur deux pivots, donne une direction très sûre et très douce : la suspension (*fig.* 264) est assurée par deux ressorts droits, réunis en leur milieu et placés transversalement sous la caisse qu'ils supportent; ces ressorts reposent sur l'entretoise, près des pivots.

Le moteur électrique système Rechniewski est très robuste, son poids est de 225 kilogrammes ; sa puissance

maxima est de 10 chevaux, en marche normale il donne 6,6 chevaux; à cette puissance, son rendement est maximum.

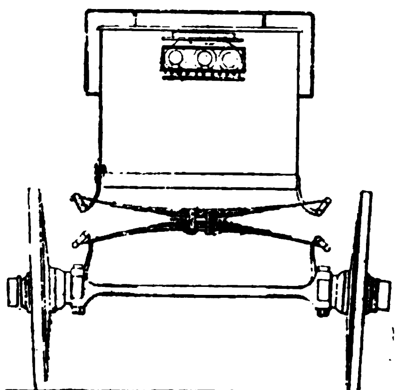


Fig. 264. — Voiture électrique Jeantaud. — Vue en bout.

Le rendement, mesuré aux divers régimes, a donné les résultats suivants:

Puissance développée en chevaux	Rendement industriel
2,4	0,68
4,6	0,89
6,5	0,92
10,8	0,91
TO	0,89

Il marche sous une tension de 70 volts et absorbe 70 ampères pour faire 7 chevaux.

La batterie d'accumulateurs qui alimentait le moteur était du type Fulmen. Elle était composée de 38 éléments, répartis en douze boîtes ; chaque élément, pesant 15 kilogrammes donne à la décharge une capacité de 300 ampères-heures, en dix heures, soit une capacité de 2 ampères au kilogramme.

Ces accumulateurs se sont bien comportés, et l'entretien semble ne pas en être très coûteux. La société Fulmen essaye, en ce moment, de nouveaux accumulateurs (type Ω) spécialement destinés à la traction et dont les résultats sont, paraît-il, très intéressants, surtout au point de vue de

l'entretien qui semble être nul. Des essais ont lieu en ce moment sur la ligne du Paris-Lyon-Méditerranée, pour examiner comment ces accumulateurs supportent les trépidations et les chocs mécaniques dus à la traction à grande vitesse sur les voies ferrées.

Les changements de vitesse étaient obtenus par le groupement des accumulateurs, fait au moyen d'un réducteur à 7 torches.

Un inverseur de courant pouvait renverser la marche, et un frein progressif ou instantané permettait de modérer l'allure à volonté.

En résumé, cette voiture a fourni, dans la course de Paris-Bordeaux, un trajet de 600 kilomètres : les quelques embarras survenus ont été dus à la partie mécanique, la partie électrique s'étant très bien comportée.

Quoique, à notre avis, les voitures à accumulateurs ne doivent pas être destinées à parcourir d'aussi longs parcours, la preuve qu'on peut leur demander de l'endurance est faite, et la solution de la traction électrique, par ce système, dans les grandes villes, n'est plus qu'une question de mise au point.

M. Jeantaud construit actuellement un coupé qui sera bien près, si les résultats annoncés se réalisent, d'être la solution du *fiacre électrique*. Dans cette voiture, c'est l'essieu d'avant qui est moteur et directeur. On évitera ainsi les têtes-à-queue si dangereux dans les voitures automobiles où, l'essieu d'arrière étant moteur, celui d'avant est directeur. Les nouveaux accumulateurs Fulmen, du type *Omega*, alimenteront cette voiture et lui permettront de parcourir 70 kilomètres sans recharge.

Le moteur sera enfermé dans une boîte avec tous les accessoires nécessaires, et un débrayage magnétique permettra d'arrêter rapidement la voiture lancée à pleine vitesse.

Cette voiture sera à quatre places, plus celle du conducteur-électricien ; son poids en ordre de marche ne sera que de 1 tonne.

Comme on le voit, si ces prévisions se réalisent pratique-

ment, c'est la solution tant cherchée de la voiture automobile électrique qui circulera dans les grandes villes.

Voiture électrique, système Bogard. — Cette voiture est un dog-cart à six places. La batterie est constituée par des accumulateurs Dujardin; elle comprend 51 éléments composés de trois plaques positives, intercalées entre quatre plaques négatives. La capacité de cette batterie est de 300 ampères-heures, et, chaque élément, pesant 22kg,5, le poids total de la batterie est de 1.250 kilogrammes.

Le moteur électrique appartient au genre Rechniewski, l'excitation est séparée: elle est faite sous la tension de 13 à 15 volts, avec 14 ampères. L'induit reçoit le courant à 90 volts et peut absorber 60 ampères: on a alors six chevaux sur l'essieu moteur qui est commandé au moyen d'un pignon calé sur l'arbre du moteur et attaque un engrenage à mouvement différentiel, monté sur un arbre intermédiaire. Ce mouvement attaque à son tour les roues dentées, placées sur l'essieu moteur qui est à l'arrière. La variation de vitesse s'obtient par le couplage de quatre groupes de 11 éléments.

La direction de la voiture est obtenue en agissant sur les roues de devant, dont l'essieu est monté sur pivot.

L'excitation séparée a le grand avantage de rendre la conduite de la voiture et le réglage de la vitesse aussi faciles que possible; de plus, cette disposition permettrait de récupérer, aux descentes, une partie de la puissance dépensée, en rechargeant la batterie.

Voiture électrique, système Pouchain. — La batterie d'accumulateurs est placée à l'arrière de la caisse: elle est composée de quatre boîtes en aluminium, doublées de celluloïd; chaque boîte contient 13 éléments composés d'une plaque positive, comprise entre deux plaques négatives. Chaque élément est placé dans une cuvette en ébonite: l'électrolyte gélatineux est formé d'une solution de 3 parties d'acide sulfurique à 30° et 1 partie de silicate de soude à

180°. La capacité de chaque élément est de 70 ampères-heures.

Le moteur électrique ne présente rien de particulier, il est placé au centre du véhicule ; à l'avant, se trouvent les appareils de mesure et de manœuvre : les variations de vitesse, au nombre de trois, sont obtenues par le groupage des éléments de la batterie.

En ordre de marche, cette voiture pèse 1.270 kilogrammes, et, sur une route d'un profil moyen, elle peut parcourir 50 kilomètres, avec une vitesse moyenne de 16 kilomètres à l'heure. La caisse de cette voiture est un phaéton à six places.

Nous nous bornerons à ces quelques indications pour ce qui concerne les voitures automotrices routières.

Bien des tentatives ont été faites, mais la plupart sont du domaine de la fantaisie.

Comme conclusion de ce chapitre, espérons que d'ici peu l'on aura trouvé un accumulateur pratique qui résoudra le problème de la traction dans les grandes villes, au moyen du *fiacre électrique*.

TABLE DES MATIÈRES

PREMIÈRE PARTIE

ÉTUDES ET PROJETS

CHAPITRE I

INTRODUCTION

CHAPITRE II

ÉTUDE THÉORIQUE

DEUXIÈME PARTIE

STATION CENTRALE. — VOIE ET LIGNE DE TRAVAIL. — MATÉRIEL ROULANT

CHAPITRE I

STATION CENTRALE GÉNÉRATRICE D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

CHAPITRE II

VOIE ET LIGNE DE TRAVAIL

CHAPITRE III

LIGNE AÉRIENNE OU FIL DE TRAVAIL

CHAPITRE IV

MATÉRIEL ROULANT

CHAPITRE V

PRIX DE PREMIER ÉTABLISSEMENT DU MATÉRIEL EN GÉNÉRAL

CHAPITRE VI

VOITURES AUTOMOTRICES : TRAMWAYS A ACCUMULATEURS

TROISIÈME PARTIE

EXPLOITATION. — CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES. — PRIX DE REVIENT. — RENDEMENT FINANCIER

CHAPITRE I

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES. — PRIX DE REVIENT

CHAPITRE II

RENDEMENT FINANCIER DES ENTREPRISES DE TRAMWAYS ÉLECTRIQUES

QUATRIÈME PARTIE

LES MÉTROPOLITAINS ÉLECTRIQUES
LES LOCOMOTIVES ÉLECTRIQUES
ET LES CHEMINS DE FER ÉLECTRIQUES
A GRANDE VITESSE

CHAPITRE I

LES MÉTROPOLITAINS ÉLECTRIQUES

CHAPITRE II

LES LOCOMOTIVES ÉLECTRIQUES ET LES CHEMINS DE FER ÉLECTRIQUES A GRANDE VITESSE

CINQUIÈME PARTIE

TRACTION ÉLECTRIQUE SUR L'EAU
APPLICATIONS DIVERSES
TRACTION DANS LES MINES
VOITURES ROUTIÈRES ÉLECTRIQUES
TELPHERAGE

CHAPITRE I

TRACTION ÉLECTRIQUE SUR L'EAU

CHAPITRE II

APPLICATIONS DIVERSES

Tours. — Imp. Deslis Frères, rue Gambetta, 6.

ERRATA

Page 13, 7ᵉ *ligne*. — Supprimer : « à la vitesse V ». — Supprimer le facteur V dans la formule. La formule exacte est.

$$P = 1.000 \times 1.000 \times (12 + 3) = 15.000.000 \text{ kilogrammètres.}$$

soit en chevaux-vapeur-heure :

$$P = \frac{15.000.000}{75 \times 3.600} = 55,5.$$

Pages 14-16. — Supprimer le facteur V dans les formules.
Page 90. — Lire : Voir fig. 164-165, au lieu de : fig. 166.
Page 165. — La figure 119 est placée à l'envers.
Page 173. — La figure 133 est placée à l'envers.
Pages 177 et 178. — Lire : la résistance C, au lieu de : la résistance G.
Page 199. — Lire : voiture, au lieu de : voie.
Pages 267, 268, 270, 271, 273, 276, 277 et 278. — Supprimer le facteur V dans toutes les formules.



